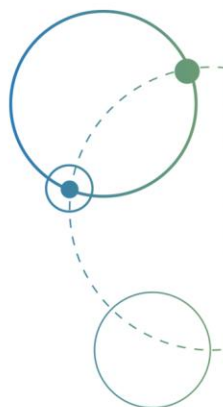




projeto
pmr | BRASIL



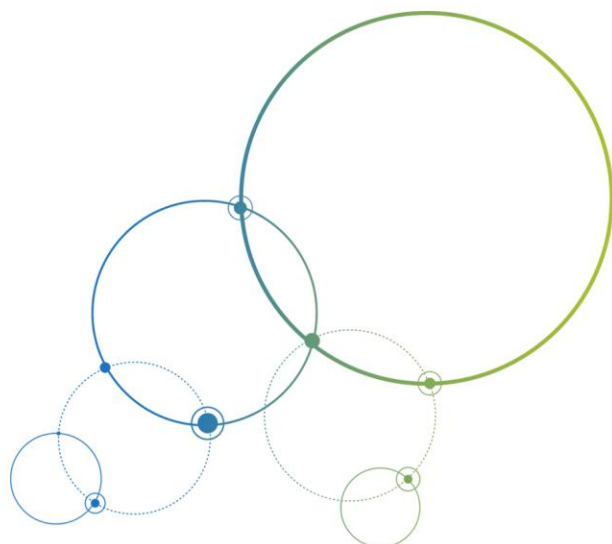
COMPONENTE 1 DA FASE DE
IMPLEMENTAÇÃO DO PMR

ELABORAÇÃO DE ESTUDOS SETORIAIS (ENERGIA ELÉTRICA, COMBUSTÍVEIS, INDÚSTRIA E AGROPECUÁRIA) E PROPOSIÇÃO DE OPÇÕES DE DESENHO DE INSTRUMENTOS DE PRECIFICAÇÃO DE CARBONO

PRODUTO 2

Diagnóstico de Indústria

Relatório Final pós consulta pública | Set/2019





**ELABORAÇÃO DE ESTUDOS SETORIAIS (ENERGIA ELÉTRICA,
COMBUSTÍVEIS, INDÚSTRIA E AGROPECUÁRIA) E
PROPOSIÇÃO DE OPÇÕES DE DESENHO DE INSTRUMENTOS
DE PRECIFICAÇÃO DE CARBONO**

COMPONENTE 1 DA FASE DE IMPLEMENTAÇÃO DO PMR

Consórcio:



: **vivideconomics**

Em acordo de subconsultoria com:



DOCUMENTO

RELATÓRIO FINAL DO PRODUTO 2 PÓS CONSULTA PÚBLICA
- INDÚSTRIA

AUTORES

COORDENADOR GERAL

Sergio Margulis (WayCarbon)

COORDENADOR TÉCNICO

Alexandre Szklo (COPPE | UFRJ)

GERENTE DO PROJETO

Matheus Brito (WayCarbon)

EQUIPES DE ESPECIALISTAS

André Lucena (COPPE | UFRJ)

Roberto Schaeffer (COPPE | UFRJ)

Bruno Cunha (COPPE | UFRJ)

Fernanda Guedes (COPPE | UFRJ)

Luan Santos (COPPE | UFRJ)

Rafael Garaffa (COPPE | UFRJ)

Raphael Guimarães (COPPE | UFRJ)

Paula Borges (COPPE | UFRJ)

Fabio Bicalho (WayCarbon)

Letícia Gavioli (WayCarbon)

Pamela Silva (WayCarbon)

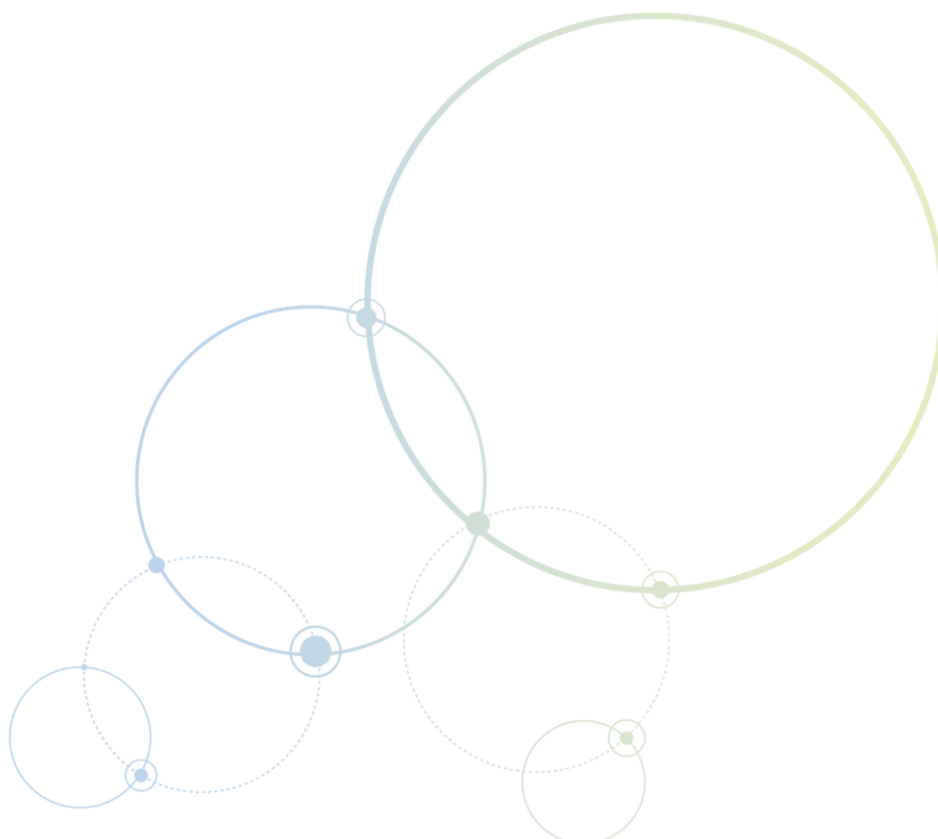
AVISO LEGAL

Os resultados, as interpretações, as recomendações, as estimativas e as conclusões expressas neste estudo são de responsabilidade dos autores, não refletindo a opinião do Banco Mundial ou do Ministério da Fazenda.

Nesse sentido, o Banco Mundial e o Ministério da Fazenda se eximem do compromisso de implementar quaisquer das recomendações contidas neste estudo.

Direitos e Permissões

O material contido na presente publicação é protegido por direitos autorais. Sua reprodução, total ou parcial, sem permissão de seus autores, poderá constituir violação à Lei 9.610/98 (Lei de Direitos Autorais). O Banco Mundial e o Ministério da Fazenda incentivam a divulgação do presente trabalho, concedendo a permissão para reprodução de suas partes, desde que citada a fonte.



CONTEXTO

O **Projeto PMR Brasil** visa subsidiar o processo de tomada de decisão acerca do papel de instrumentos de precificação de carbono nas políticas de mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE), por meio do estudo e avaliação detalhada dos impactos de mecanismos de precificação de carbono sobre a economia, a sociedade e o meio ambiente.

Nesse contexto, o projeto busca responder a duas perguntas norteadoras principais: **i) é desejável ter um instrumento de precificação de carbono compondo a política climática nacional no período pós-2020? ii) em caso afirmativo, quais as principais características que o instrumento deve ter para otimizar a relação entre objetivos ambientais e desenvolvimento socioeconômico?**

Associadas a essas perguntas gerais, diversas perguntas específicas se colocam, abordando aspectos distributivos, de aceitação política, entre outros. Também é de interesse do projeto que cada uma dessas questões seja adequadamente tratada.

Para responder tais questionamentos, Projeto PMR Brasil está dividido em quatro componentes complementares. Um componente de estudos setoriais (Componente 1), que tem por objetivo estabelecer um panorama geral da realidade da estrutura econômica e tecnológica dos setores brasileiros, bem como das políticas setoriais e dos instrumentos utilizados para implementá-las, visando avaliar de que forma instrumentos baseados na precificação de emissões poderiam interagir com essas realidades. Se por um lado tal interação pode ser de complementaridade e sinergia entre políticas, por outro, sua combinação também pode ser contraproducente no sentido de prejudicar o funcionamento tanto do(s) instrumento(s) de precificação de emissões quanto dos instrumentos adotados no campo das políticas setoriais. Sendo assim, estabelecer uma melhor visão dos objetivos das políticas setoriais, bem como das interações potenciais entre instrumentos de precificação de emissões e instrumentos já existentes (tributários, creditícios, regulatórios, fomento à pesquisa e inovação, etc.) é requisito fundamental para o desenvolvimento de uma combinação de políticas que seja complementar e efetiva. Com base nestes estudos, o Componente 1 proporrá pacotes de instrumentos de precificação de emissões e possíveis ajustes de instrumentos de políticas setoriais existentes que maximizem a eficiência da implementação dos objetivos da PNMC pós-2020. Os pacotes de instrumentos propostos serão avaliados quanto aos seus impactos socioeconômicos no Componente 2 do projeto. Tal componente está dividido em dois subcomponentes, o Componente 2A – de modelagem econômica para a estimação de impactos da implementação dos referidos pacotes de instrumentos de política – e o Componente 2B – que realizará uma análise do impacto regulatório da adoção dos mesmos pacotes. O componente setorial fornecerá insumos e receberá feedbacks dos componentes de estimação de impactos, sendo a interação entre os componentes essencial ao projeto. O projeto conta, ainda, com um terceiro componente de comunicação e engajamento de *stakeholders*. O esquema abaixo retrata as interações entre os componentes do projeto.

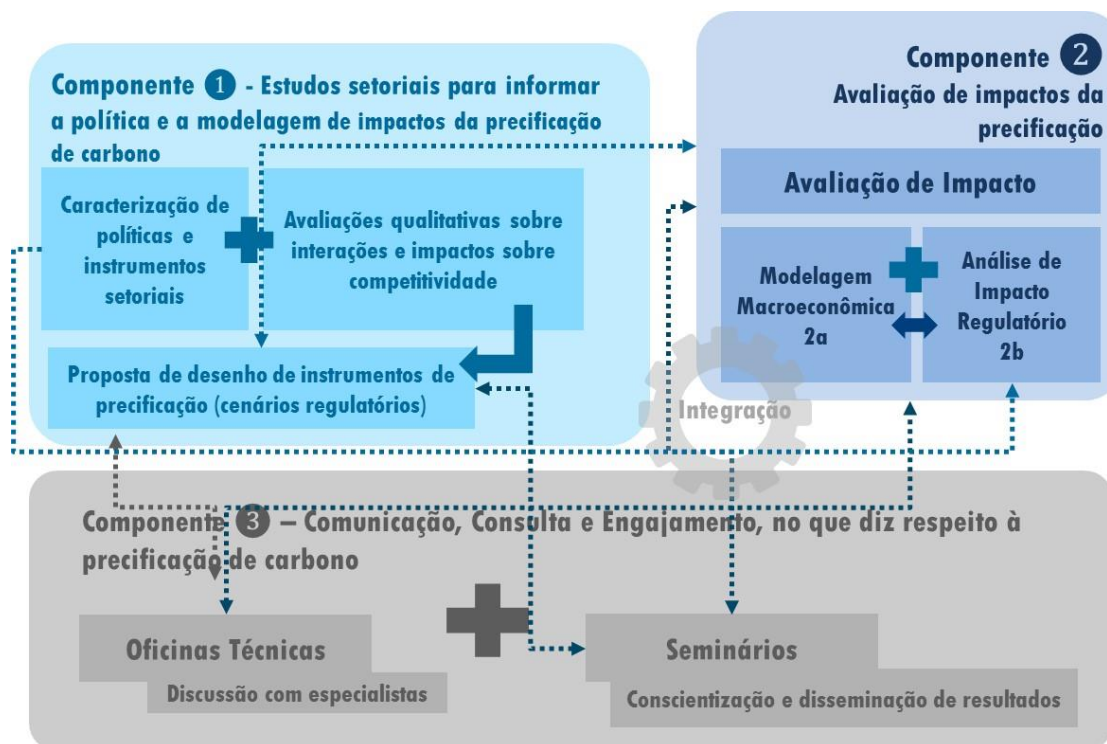


Figura 1: Estrutura do Projeto PMR Brasil

O presente processo de consulta diz respeito aos Produtos 1 e 2 do Componente 1 do Projeto PMR Brasil. Tais produtos estão divididos em quatro relatórios e trazem um diagnóstico setorial para quatro macrosetores da economia brasileira: energia elétrica, combustíveis, agropecuária¹ e indústria². O diagnóstico setorial busca trazer: (i) uma análise da estrutura econômica de cada setor, focando em itens como a formação de preços, a estrutura de mercado e a concentração de cada setor; (ii) perfil de emissões e opções de mitigação de emissões de GEE em cada setor; (iii) um mapeamento das políticas setoriais vigentes em cada setor; e (iv) a identificação e descrição de instrumentos de política setoriais existentes.

Posteriormente serão postos em consulta os Produtos 3, 4 e 5 do Componente 1. Os produtos 3 e 4 trarão recomendações setoriais acerca do desenho e adoção de instrumentos de precificação de carbono e ajustes em políticas setoriais vigentes, além de uma análise da experiência internacional com a adoção de instrumentos de precificação de carbono. Já o Produto 5 trará recomendações transversais acerca de pacotes de instrumentos de política climática voltados ao cumprimento da NDC brasileira de maneira custo-efetiva.

¹ Agricultura, Pecuária Bovina (Leiteira e de Corte) e Insumos (Fertilizantes e Insumos Veterinários).

² Química, Alumínio, Papel e Celulose, Ferro e Aço e Cimento, Cal e Vidro.

Também serão postos em consulta, em momento futuro, documentos relacionados aos Componentes 2A e 2B do Projeto PMR Brasil.

SUMÁRIO

CONTEXTO	IV
SUMÁRIO	VII
LISTA DE ACRÔNIMOS.....	XII
LISTA DE FIGURAS	XVII
LISTA DE TABELAS	XXV
LISTA DE QUADROS.....	XXVII
1 INTRODUÇÃO	25
2 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E ANÁLISE DO PERFIL DE EMISSÕES DE GEE.....	25
2.1 ANÁLISE DO PERFIL DE EMISSÕES DE GEE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA.....	26
2.1.1 <i>Papel e Celulose</i>	27
2.1.2 <i>Química</i>	30
2.1.3 <i>Cimento</i>	34
2.1.4 <i>Cal</i>	37
2.1.5 <i>Vidro</i>	39
2.1.6 <i>Ferro-Gusa e Aço</i>	41
2.1.7 <i>Alumínio</i>	45
2.2 ANÁLISE DAS MELHORES TECNOLOGIAS DE CONTROLE DISPONÍVEIS	50
2.2.1 <i>Papel e Celulose</i>	50
2.2.2 <i>Química</i>	66
2.2.3 <i>Cimento</i>	81
2.2.4 <i>Cal</i>	101
2.2.5 <i>Vidro</i>	102
2.2.6 <i>Ferro-Gusa e Aço</i>	108
2.2.7 <i>Alumínio</i>	130
2.3 DISCUSSÕES FINAIS	132
2.4 REFERÊNCIAS	137

3	ANÁLISE DA ESTRUTURA DE MERCADO E DA ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL	144
3.1	PAPEL E CELULOSE	146
3.1.1	<i>Características Gerais</i>	<i>147</i>
3.1.2	<i>Grau de Concentração</i>	<i>152</i>
3.1.3	<i>Indicadores de Encadeamento Intersetorial e Efeito Multiplicador</i>	<i>157</i>
3.1.4	<i>Vulnerabilidade Externa</i>	<i>159</i>
3.1.5	<i>Referências</i>	<i>165</i>
3.2	QUÍMICA	167
3.2.1	<i>Características Gerais</i>	<i>167</i>
3.2.2	<i>Grau de Concentração</i>	<i>177</i>
3.2.3	<i>Indicadores de Encadeamento Intersetorial e Efeito Multiplicador</i>	<i>182</i>
3.2.4	<i>Vulnerabilidade Externa</i>	<i>186</i>
3.2.5	<i>Referências</i>	<i>193</i>
3.3	CIMENTO, CAL E VIDRO	194
3.3.1	<i>Características Gerais</i>	<i>195</i>
3.3.2	<i>Grau de Concentração</i>	<i>207</i>
3.3.3	<i>Indicadores de Encadeamento Intersetorial e Efeito Multiplicador</i>	<i>218</i>
3.3.4	<i>Vulnerabilidade Externa</i>	<i>224</i>
3.3.5	<i>Referências</i>	<i>234</i>
3.4	FERRO E AÇO	237
3.4.1	<i>Características Gerais</i>	<i>237</i>
3.4.2	<i>Grau de Concentração</i>	<i>246</i>
3.4.3	<i>Indicadores de Encadeamento Intersetorial e Efeito Multiplicador</i>	<i>254</i>
3.4.4	<i>Vulnerabilidade Externa</i>	<i>257</i>
3.4.5	<i>Referências</i>	<i>260</i>
3.5	ALUMÍNIO	261
3.5.1	<i>Características Gerais</i>	<i>261</i>

3.5.2	<i>Grau de Concentração</i>	268
3.5.3	<i>Indicadores de Encadeamento Intersectorial e Efeito Multiplicador</i>	274
3.5.4	<i>Vulnerabilidade Externa</i>	278
3.5.5	<i>Referências</i>	283
3.6	ANÁLISE COMPARATIVA	285
4	MAPEAMENTO DE POLÍTICAS E IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS INSTRUMENTOS	295
4.1	POLÍTICA DE ESTÍMULOS SETORIAIS	298
4.1.1	<i>Apoio a PD&I e à Indústria</i>	299
4.1.2	<i>Investimentos Públicos</i>	315
4.1.3	<i>Conteúdo Local</i>	322
4.1.4	<i>Estímulos ao Setor de Papel e Celulose</i>	329
4.2	POLÍTICA DE USO RACIONAL DE RECURSOS	332
4.2.1	<i>Histórico dos Programas Governamentais</i>	332
4.2.2	<i>Principais Programas Governamentais</i>	334
4.2.3	<i>Investimentos em P&D para Eficiência Energética</i>	344
4.2.4	<i>Principais Programas de Financiamento do BNDES para Promoção do Uso Racional de Recursos</i> 345	
4.3	POLÍTICA TRIBUTÁRIA	349
4.3.1	<i>Características dos tributos</i>	349
4.3.2	<i>Tributos</i>	351
4.3.3	<i>Contribuições</i>	353
4.3.4	<i>Medidas Tributárias para Mitigação da Mudança do Clima</i>	354
4.3.5	<i>Lei Kandir</i>	362
4.4	POLÍTICAS PARA O CLIMA	367
4.4.1	<i>Plano Nacional sobre Mudança do Clima</i>	368
4.4.2	<i>Fundo Nacional sobre Mudança do Clima</i>	369
4.4.3	<i>Política Nacional sobre Mudança do Clima</i>	372
4.4.4	<i>Plano Indústria</i>	375

4.4.5	<i>Plano Siderurgia</i>	381
4.4.6	<i>NDC brasileira</i>	385
4.5	POLÍTICA AMBIENTAL COM ÊNFASE EM CONTROLE DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	392
4.5.1	<i>Celulose</i>	394
4.5.2	<i>Alumínio</i>	395
4.5.3	<i>Química</i>	396
4.5.4	<i>Siderurgia</i>	398
4.5.5	<i>Cimento e Vidro</i>	401
4.5.6	<i>Geração de calor</i>	403
4.6	SÍNTESE DAS POLÍTICAS PARA O SETOR INDUSTRIAL	407
5	FORMAÇÃO DE PREÇOS	409
5.1	PAPEL E CELULOSE	409
5.2	QUÍMICA	412
5.3	CIMENTO, CAL E VIDRO	415
5.4	FERRO E AÇO	417
5.5	ALUMÍNIO	418
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	420
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	421
A.	ANEXO A – METODOLOGIA	432
A. 1	CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SETORES	432
A. 1. 1.	<i>Estrutura setorial do valor da produção</i>	434
A. 1. 2.	<i>Estrutura setorial do valor do valor adicionado</i>	434
A. 1. 3.	<i>Distribuição das vendas por produto</i>	435
A. 1. 4.	<i>Coeficiente direto do Excedente Operacional Bruto</i>	435
A. 2	INDICADORES DE GRAU DE CONCENTRAÇÃO (PODER DE MERCADO)	435
A. 2. 1.	<i>Coeficiente de pessoal ocupado</i>	436
A. 2. 2.	<i>Razão de concentração (CR)</i>	436

A. 3	INDICADORES DE ENCADEAMENTO INTERSETORIAL E MULTIPLICADORES	436
A. 3. 1.	ÍNDICES DE RASMUSSEN-HIRSCHMAN: ÍNDICES DE LIGAÇÃO PARA TRÁS E PARA FRENTE	437
A. 3. 2.	Multiplicadores	437
A. 4	VULNERABILIDADE EXTERNA.....	439
A. 4. 1.	Coeficiente de exportações.....	440
A. 4. 2.	Coeficiente de Penetração das Importações.....	440
B.	ANEXO B – ÍNDICES DE RAZÃO CONCENTRAÇÃO (CR)	441

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrelpe	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACEEE	<i>American Council for an Energy-Efficient Economy</i> (Conselho Americano para uma Economia Energeticamente Eficiente)
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APP	Área de Preservação Permanente
BAU	<i>Business As Usual</i>
BB	Banco do Brasil
BD	Banco de Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BNDESPAR	BNDES Participações S.A.
CDE	Conselho de Desenvolvimento Econômico
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CEF	Caixa Econômica Federal
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CIDE	Contribuição de Intervenção de Domínio Econômico
CL	Conteúdo Local
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente

Conpet	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás
COP	Conferência das Partes
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
CTPin	Comissão Técnica do Plano Indústria
CVM	Comissão de Valores Imobiliários
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
E&P	Exploração e Produção
EPPA	<i>Emissions Prediction and Policy Analysis</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FBMC	Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FNMC	Fundo Nacional sobre Mudança do Clima
GEE	Gases do Efeito Estufa
GEF	<i>Global Environment Facility</i> (Facilidade Ambiental Global)
GEM	Gestão Energética Municipal
GLP	gás liquefeito de petróleo
GNV	gás natural veicular
GWP	<i>Global Warming Potential</i> (Potencial de Aquecimento Global)
IABr	Instituto Aço Brasil
IBA	Indústria Brasileira de Árvores
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IFC	<i>International Finance Corporation</i> (Corporação Financeira Internacional)

II	Impostos sobre Importação
iNDC	<i>intended Nationally Determined Contributions</i> (pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada)
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IOF	Imposto sobre Operações Financeiras
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
IPTU	Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana
IRPF	Imposto de Renda Pessoa Física
ISS	Imposto Sobre Serviços
IVA	Imposto sobre Valor Adicionado
LER	Leilão de Energia de Reserva
LNB	<i>Low-Nox Burners</i>
LULUCF	<i>Land Use, Land-Use Change, and Forestry</i> (Uso da Terra, Mudanças no Uso da Terra e Florestas)
MBRE	Mercado Brasileiro de Redução de Emissões
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Material Particulado
MPE	Micro e Pequenas Empresas
MRN	Mineração Rio do Norte

MRV	Medição, Relato e Verificação
NAMA	<i>Nationally Appropriate Mitigation Actions</i> (Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas)
OMC	Organização Mundial de Comércio
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PBACV	Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PCL	Política de Conteúdo Local
PDE	Plano Decenal de Energia
PEC	Propostas de Emenda Constitucional
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
P&G	Petróleo e Gás
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PMCMV	Programa Minha Casa, Minha Vida
PME	Programa de Mobilização Energética
PMR	<i>Partnership for Market Readiness</i>
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Proconve	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROEOLICA	Programa Emergencial de Energia Eólica
PROESCO	Apoio a Projetos de Eficiência Energética

PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
Pronar	Programa Nacional de Controle de Qualidade do
Reflore	Associação Sul-Mato-Grossense de Produtores e Consumidores de Florestas Plantadas
REIF	Regime Especial da Indústria de Fertilizantes
REINTEGRA	Regime Especial de Reintegração de Valores Tributários para as Empresas Exportadoras
Reiq	Regime Especial da Indústria Química
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SICV Brasil	Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida
STN	Sistema Tributário Nacional
TIR	Taxa Interna de Retorno
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ESTRUTURA DO PROJETO PMR BRASIL	V
FIGURA 3: DESAGREGAÇÃO DAS EMISSÕES DE ENERGIA E PROCESSOS DA INDÚSTRIA	27
FIGURA 4: EMISSÕES DE GEES DO SUBSETOR DE PAPEL E CELULOSE	30
FIGURA 5: EMISSÕES DE GEE DO SETOR QUÍMICO	33
FIGURA 6: EMISSÕES DE GEES DO SUBSETOR DE CIMENTO	37
FIGURA 7: EMISSÕES DE GEES DO SETOR DE CAL	39
FIGURA 8: EMISSÕES DE GEE DO SETOR DE VIDRO	41
FIGURA 9: EMISSÕES DE GEES DO SUBSETOR DE FERRO E AÇO	45
FIGURA 10: EMISSÕES DE GEE DO SETOR DE ALUMÍNIO (GGCO ₂)	49
FIGURA 10: CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA (EXAJoule - EJ) VS. VOLUME DE PRODUÇÃO (KILOTONELADA - KT) DOS 18 PRINCIPAIS PRODUTOS QUÍMICOS DE GRANDE VOLUME, 2010	67
FIGURA 11: EMISSÕES GLOBAIS DE GEE VS. VOLUME DE PRODUÇÃO DOS DEZOITO PRINCIPAIS PRODUTOS QUÍMICOS DE GRANDE VOLUME, 2010. FONTE: IEA (2014)	67
FIGURA 13: DEMANDA ADICIONAL DE ENERGIA VS. REDUÇÃO DO USO DE ENERGIA FÓSSIL PELA SUBSTITUIÇÃO DOS ATUAIS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AMÔNIA E METANOL POR ROTAS BASEADAS EM H ₂	69
FIGURA 14: MITIGAÇÃO DE EMISSÃO DE GEES NA PRODUÇÃO DE AMÔNIA E METANOL COM BASE EM HIDROGÊNIO	69
FIGURA 15: USO DE ENERGIA DE BIOMASSA VS. FÓSSIL DAS ROTAS DE PRODUÇÃO DE OLEFINAS	70
FIGURA 16: EMISSÕES DE GEE PARA ROTAS DE BIOMASSA VS. FÓSSEIS PARA HVC, INCLUINDO A CADEIA DE PROCESSOS TOTAL	70
FIGURA 17: ROTAS POTENCIAIS A PARTIR DO GÁS DE SÍNTESE	73
FIGURA 18: ESQUEMA BÁSICO DA SUCROQUÍMICA	74
FIGURA 19: ESQUEMA BÁSICO DA OLEOQUÍMICA	75
FIGURA 20: FONTES DE ENERGIA UTILIZADAS PARA DIFERENTES PROCESSOS DE CONVERSÃO DE CO ₂	76
FIGURA 21 - SISTEMA DE CORES ADOTADO PARA CADA SUBSETOR ANALISADO	146
FIGURA 22: PARTICIPAÇÃO DO VBP DO SUBSETOR PAPEL E CELULOSE NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	147
FIGURA 23: VBP DO SUBSETOR PAPEL E CELULOSE X VBP DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	148
FIGURA 24: PARTICIPAÇÃO DO VA DO SUBSETOR PAPEL E CELULOSE NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	148
FIGURA 25: VA DO SETOR PAPEL E CELULOSE X VA DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	149

FIGURA 26: DISTRIBUIÇÃO DAS VENDAS DO SETOR PAPEL E CELULOSE, 2010.....	149
FIGURA 27: PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE CELULOSE E PAPEL	151
FIGURA 28: COEFICIENTE DE PESSOAL OCUPADO PARA PAPEL E CELULOSE, 2014.....	153
FIGURA 29: ÍNDICES DE RAZÃO DE CONCENTRAÇÃO* PARA PAPEL E CELULOSE, 2014	154
FIGURA 30: NÚMERO DE EMPRESAS X PESSOAL OCUPADO PARA PAPEL E CELULOSE, 2014.....	155
FIGURA 31: LOCALIZAÇÃO DOS PRODUTORES BRASILEIROS DE CELULOSE E PAPEL.....	156
FIGURA 32: ÍNDICES DE LIGAÇÃO RASMUSSEN-HIRSCHMAN PARA PAPEL E CELULOSE, 2010.....	157
FIGURA 33: MULTIPLICADORES DE RENDA E DE PRODUÇÃO PARA PAPEL E CELULOSE, 2010.....	158
FIGURA 34: MULTIPLICADORES DE EMPREGO E TRIBUTÁRIOS PARA PAPEL E CELULOSE, 2010.....	159
FIGURA 35: EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO SALDO COMERCIAL DO SUBSETOR DE PAPEL E CELULOSE NO BRASIL	160
FIGURA 36: DESTINO DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE CELULOSE	161
FIGURA 37: DESTINO DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE PAPEL	161
FIGURA 38: COMPOSIÇÃO E DESTINO DA PRODUÇÃO DE CELULOSE NO BRASIL.....	162
FIGURA 39: COMPOSIÇÃO E DESTINO DA PRODUÇÃO DE PAPEL NO BRASIL.....	162
FIGURA 40: COEFICIENTE DE EXPORTAÇÃO PARA PAPEL E CELULOSE, 2010	163
FIGURA 41: COEFICIENTE DE PENETRAÇÃO DAS IMPORTAÇÕES DE PAPEL E CELULOSE, 2010	164
FIGURA 42: PARTICIPAÇÃO DO VBP DO SETOR QUÍMICA NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	168
FIGURA 43: VBP DO SETOR QUÍMICA X VBP DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	169
FIGURA 44: PARTICIPAÇÃO DO VA DO SETOR QUÍMICA NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	170
FIGURA 45: VA DO SETOR QUÍMICA X VA DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	171
FIGURA 46: DISTRIBUIÇÃO DAS VENDAS DO SETOR QUÍMICA, 2010	172
FIGURA 47: FATURAMENTO DA INDÚSTRIA QUÍMICA EM 2015 POR SEGMENTO.....	173
FIGURA 48: EVOLUÇÃO DO FATURAMENTO LÍQUIDO DA INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA (2000-2016).....	174
FIGURA 49: DISTRIBUIÇÃO DO FATURAMENTO DO SEGMENTO DE QUÍMICOS PARA USO INDUSTRIAL EM 2013	175
FIGURA 50: EVOLUÇÃO DO FATURAMENTO DO SEGMENTO DE QUÍMICOS PARA USO INDUSTRIAL (2000-2016).....	176
FIGURA 51: COEFICIENTE DE PESSOAL OCUPADO PARA QUÍMICA, 2014	177
FIGURA 52: ÍNDICES DE RAZÃO DE CONCENTRAÇÃO* PARA QUÍMICA, 2014	179

FIGURA 53: NÚMERO DE EMPRESAS X PESSOAL OCUPADO PARA PRODUTOS QUÍMICOS, 2014	180
FIGURA 54: NÚMERO DE EMPRESAS X PESSOAL OCUPADO PARA PRODUTOS FARMOQUÍMICOS E FARMACÊUTICOS, 2014	181
FIGURA 55: DISTRIBUIÇÃO DAS PLANTAS DE PRODUTOS QUÍMICOS DE USO INDUSTRIAL NO BRASIL	181
FIGURA 56: ÍNDICES DE LIGAÇÃO RASMUSSEN-HIRSCHMAN PARA QUÍMICA, 2010	183
FIGURA 57: MULTIPLICADORES DE RENDA E DE PRODUÇÃO PARA QUÍMICA, 2010	184
FIGURA 58: MULTIPLICADORES DE EMPREGO E TRIBUTÁRIOS PARA QUÍMICA, 2010	185
FIGURA 59: EVOLUÇÃO DOS ÍNDICES DE PRODUÇÃO E VENDAS DO SEGMENTO DA INDÚSTRIA QUÍMICA DE QUÍMICOS DE USO INDUSTRIAL (2000 – 2016)	186
FIGURA 60: PARTICIPAÇÃO DOS PRINCIPAIS PAÍSES NO FATURAMENTO LÍQUIDO DA INDÚSTRIA QUÍMICA MUNDIAL EM 2014	187
FIGURA 61: PARTICIPAÇÃO DAS TRANSAÇÕES COMERCIAIS DA INDÚSTRIA QUÍMICA NO COMÉRCIO EXTERIOR BRASILEIRO	188
FIGURA 62: BALANÇA COMERCIAL DA INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA (2000-2016)	189
FIGURA 63: PAÍSES DE DESTINO DAS EXPORTAÇÕES DA INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA EM 2015	190
FIGURA 64: PAÍSES DE ORIGEM DAS IMPORTAÇÕES DA INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA EM 2015	190
FIGURA 65: COEFICIENTE DE EXPORTAÇÃO PARA QUÍMICA, 2010	191
FIGURA 66: COEFICIENTE DE PENETRAÇÃO DAS IMPORTAÇÕES DE QUÍMICA, 2010	192
FIGURA 67: PARTICIPAÇÃO DO VBP DO SETOR CIMENTO, CAL E VIDRO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	195
FIGURA 68: VBP DO SETOR CIMENTO, CAL E VIDRO X VBP DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	196
FIGURA 69: PARTICIPAÇÃO DO VA DO SETOR CIMENTO, CAL E VIDRO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	196
FIGURA 70: VA DO SETOR CIMENTO, CAL E VIDRO X VA DOS SETORES DO ESTUDO, 2010	197
FIGURA 71: DISTRIBUIÇÃO DAS VENDAS DO SETOR CIMENTO, CAL E VIDRO, 2010	198
FIGURA 72: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE CAL	200
FIGURA 73: PRODUÇÃO DE VIDROS NO BRASIL DE ACORDO COM SEU TIPO	203
FIGURA 74: EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE FABRICAÇÃO DE VIDROS NO BRASIL	204
FIGURA 75: VARIAÇÃO (%) DA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS DE VIDRO EM RELAÇÃO AO ANO ANTERIOR	205
FIGURA 76: CAPACIDADE PRODUTIVA DE VIDROS PLANOS NO BRASIL	206
FIGURA 77: CONSUMO APARENTE E CONSUMO PER CAPITA DE VIDROS PLANOS NO BRASIL DE 2006-2015	206
FIGURA 78: COEFICIENTE DE PESSOAL OCUPADO PARA CIMENTO, CAL E VIDRO, 2014	208
FIGURA 79: ÍNDICES DE RAZÃO DE CONCENTRAÇÃO* PARA CIMENTO, CAL E VIDRO, 2014	209

FIGURA 80: NÚMERO DE EMPRESAS X PESSOAL OCUPADO PARA CIMENTO, CAL E VIDRO, 2014	210
FIGURA 81: PARTICIPAÇÃO REGIONAL BRASILEIRA NA PRODUÇÃO DE CIMENTO	211
FIGURA 82: DISTRIBUIÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DA INDÚSTRIA DE VIDROS DE ACORDO COM O GRUPO	217
FIGURA 83: ÍNDICES DE LIGAÇÃO RASMUSSEN-HIRSCHMAN PARA CIMENTO, CAL E VIDRO, 2010	218
FIGURA 84: MULTIPLICADORES DE RENDA E DE PRODUÇÃO PARA CIMENTO, CAL E VIDRO, 2010	219
FIGURA 85: MULTIPLICADORES DE EMPREGO E TRIBUTÁRIOS PARA CIMENTO, CAL E VIDRO, 2010	220
FIGURA 86: TAXAS DE CRESCIMENTO DA INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL E PRODUÇÃO E CONSUMO APARENTE DE CIMENTO	221
FIGURA 87: DISTRIBUIÇÃO DO DESTINO DA PRODUÇÃO DE CIMENTO NO BRASIL EM 2013	221
FIGURA 88: PERFIL DO CONSUMO DE CAL NO BRASIL	222
FIGURA 89: CADEIA DE PRODUÇÃO DA INDÚSTRIA DO VIDRO PLANO	223
FIGURA 90: COEFICIENTE DE EXPORTAÇÃO PARA CIMENTO, CAL E VIDRO, 2010	225
FIGURA 91: COEFICIENTE DE PENETRAÇÃO DAS IMPORTAÇÕES DE CIMENTO, CAL E VIDRO, 2010	226
FIGURA 92: IMPORTAÇÕES E EXPORTAÇÕES DO SETOR DE CIMENTO E SUA PARTICIPAÇÃO NO CONSUMO APARENTE NACIONAL	227
FIGURA 93: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE CAL	228
FIGURA 94: VOLUME DE IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE CAL NO BRASIL	229
FIGURA 95: BALANÇA COMERCIAL BRASILEIRA DE CAL	229
FIGURA 96: BALANÇA COMERCIAL BRASILEIRA DE VIDROS PLANOS NO BRASIL	230
FIGURA 97: PARTICIPAÇÃO DOS PAÍSES NA IMPORTAÇÃO DE PRODUTOS DE VIDRO PLANO NO BRASIL	231
FIGURA 98: BALANÇA COMERCIAL BRASILEIRA DO SETOR DE VIDROS	232
FIGURA 99: PARTICIPAÇÃO DOS PAÍSES NA EXPORTAÇÃO DE PRODUTOS DE VIDRO PLANO NO BRASIL	233
FIGURA 100: PARTICIPAÇÃO DO VBP DO SETOR FERRO E AÇO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	237
FIGURA 101: VBP DO SETOR FERRO E AÇO X VBP DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	238
FIGURA 102: PARTICIPAÇÃO DA VA DO SETOR FERRO E AÇO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	239
FIGURA 103: VA DO SETOR FERRO E AÇO X VA DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	239
FIGURA 104: DISTRIBUIÇÃO DAS VENDAS DO SETOR FERRO E AÇO, 2010	240
FIGURA 105: FLUXOGRAMA DE PROCESSOS DE USINAS INTEGRADAS	241
FIGURA 106: FLUXOGRAMA DE PROCESSOS DE USINAS SEMI-INTEGRADAS	242

FIGURA 107: UTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA BRASILEIRA	243
FIGURA 108: COEFICIENTE DE PESSOAL OCUPADO PARA FERRO E AÇO, 2014	247
FIGURA 109: ÍNDICES DE RAZÃO DE CONCENTRAÇÃO* PARA FERRO E AÇO, 2014.....	248
FIGURA 110: NÚMERO DE EMPRESAS X PESSOAL OCUPADO PARA MINERAIS METÁLICOS, 2014	249
FIGURA 111: DISTRIBUIÇÃO REGIONAL DA PRODUÇÃO DE AÇO BRASILEIRA.....	251
FIGURA 112: ÍNDICES DE LIGAÇÃO RASMUSSEN-HIRSCHMAN PARA FERRO E AÇO, 2010	255
FIGURA 113: MULTIPLICADORES DE RENDA E DE PRODUÇÃO PARA FERRO E AÇO, 2010	256
FIGURA 114: MULTIPLICADORES DE EMPREGO E TRIBUTÁRIOS PARA FERRO E AÇO, 2010	257
FIGURA 115: COEFICIENTE DE EXPORTAÇÃO PARA FERRO E AÇO, 2010.....	258
FIGURA 116: COEFICIENTE DE PENETRAÇÃO DAS IMPORTAÇÕES DE FERRO E AÇO, 2010.....	259
FIGURA 117: CADEIA DE PRODUÇÃO DO ALUMÍNIO	261
FIGURA 118: PARTICIPAÇÃO DO VBP DO SETOR ALUMÍNIO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	262
FIGURA 119: VBP DO SETOR ALUMÍNIO X VBP DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	263
FIGURA 120: PARTICIPAÇÃO DO VA DO SETOR ALUMÍNIO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	263
FIGURA 121: VA DO SETOR ALUMÍNIO X VA DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	264
FIGURA 122: DISTRIBUIÇÃO DAS VENDAS DO SETOR ALUMÍNIO, 2010	264
FIGURA 123: PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO NO BRASIL (2004-2016).....	265
FIGURA 124: EVOLUÇÃO DO CONSUMO APARENTE DE ALUMÍNIO NO BRASIL.....	266
FIGURA 125: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE BAUXITA E ALUMINA NO BRASIL (2006-2015).....	266
FIGURA 126: LOCALIZAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DE ALUMÍNIO NO BRASIL	267
FIGURA 127: COEFICIENTE DE PESSOAL OCUPADO PARA ALUMÍNIO, 2014	269
FIGURA 128: ÍNDICES DE RAZÃO DE CONCENTRAÇÃO* PARA ALUMÍNIO, 2014.....	270
FIGURA 129: NÚMERO DE EMPRESAS X PESSOAL OCUPADO PARA MINERAIS METÁLICOS NÃO-FERROSOS, 2014	271
FIGURA 130: PARTICIPAÇÃO DAS PRINCIPAIS PRODUTORAS DE BAUXITA E ALUMINA NA PRODUÇÃO EM 2015	273
FIGURA 131: ÍNDICES DE LIGAÇÃO RASMUSSEN-HIRSCHMAN PARA ALUMÍNIO, 2010	274
FIGURA 132: MULTIPLICADORES DE RENDA E DE PRODUÇÃO PARA ALUMÍNIO, 2010	275
FIGURA 133: MULTIPLICADORES DE EMPREGO E TRIBUTÁRIOS PARA ALUMÍNIO, 2010	276

FIGURA 134: PRODUTOS TRANSFORMADOS DE ALUMÍNIO E SUA PARTICIPAÇÃO NA PRODUÇÃO EM 2015.....	277
FIGURA 135: SETORES DE CONSUMO DE TRANSFORMADOS DE ALUMÍNIO E SUA PARTICIPAÇÃO.....	277
FIGURA 136: VARIAÇÃO DO CONSUMO DE TRANSFORMADOS DE ALUMÍNIO ENTRE 2015 E 2016	278
FIGURA 137: PARTICIPAÇÃO DOS PAÍSES NA PRODUÇÃO MUNDIAL DE ALUMÍNIO EM 2008 E 2015	279
FIGURA 138: COEFICIENTE DE EXPORTAÇÃO PARA ALUMÍNIO, 2010.....	280
FIGURA 139: BALANÇA COMERCIAL DE ALUMÍNIO DO BRASIL ENTRE 2006 E 2015	281
FIGURA 140: COEFICIENTE DE PENETRAÇÃO DAS IMPORTAÇÕES DE ALUMÍNIO, 2010	282
FIGURA 141: PARTICIPAÇÃO DO VBP DOS SUBSETORES SELECIONADOS DO ESTUDO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	285
FIGURA 142: PARTICIPAÇÃO DO VA DOS SUBSETORES SELECIONADOS DO ESTUDO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO, 2010	286
FIGURA 143: COEFICIENTE DIRETO DO EOB PARA AS ATIVIDADES DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010.....	287
FIGURA 144: PARTICIPAÇÃO DO NÚMERO DE PESSOAS OCUPADAS DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO EM 2014	288
FIGURA 145 - ÍNDICES DE RAZÃO DE CONCENTRAÇÃO PARA OS SETORES ANALISADOS.....	289
FIGURA 146: ÍNDICES DE LIGAÇÃO RASMUSSEN-HIRSCHMAN PARA OS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	290
FIGURA 147: MULTIPLICADORES DE RENDA E DE PRODUÇÃO PARA OS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	291
FIGURA 148: MULTIPLICADORES DE EMPREGO E TRIBUTÁRIOS PARA OS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010	292
FIGURA 149: PARTICIPAÇÃO DAS EXPORTAÇÕES NA PRODUÇÃO DAS ATIVIDADES DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010..	293
FIGURA 150 :COEFICIENTE DE PENETRAÇÃO DAS IMPORTAÇÕES DAS ATIVIDADES DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2010..	294
FIGURA 151: ESTIMATIVAS E TRAJETÓRIAS DE EMISSÃO PARA O SETOR INDUSTRIAL (2010-2050)	297
FIGURA 152 - PRINCIPAIS ATORES DO SISTEMA NACIONAL DE CT&I.....	300
FIGURA 153 - DESEMBOLSOS DO BNDES POR SETOR.....	307
FIGURA 154: DESEMBOLSOS INDUSTRIAIS DO BNDES DE 2001 A 2010 PARA O SETOR DE PAPEL E CELULOSE, EXCLUINDO INVESTIMENTOS FLORESTAIS, RENDA VARIÁVEL E CAPITAL DE GIRO	311
FIGURA 155: EMPRESAS ATIVAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL SEGUNDO O IBGE	319
FIGURA 156: VARIAÇÃO, EM RELAÇÃO AO ANO ANTERIOR, DO PIB BRASIL E PIB DO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL.....	320
FIGURA 157: ESTIMATIVA DOS IMPACTOS SETORIAIS DURANTE A FASE DE OPERAÇÃO DOS INVESTIMENTOS DO PMCMV	321
FIGURA 158: ESTIMATIVAS DOS IMPACTOS SETORIAIS TOTAIS DO PMCAMV	322
FIGURA 159: FLUXOGRAMA DOS SETORES DA CADEIA DO PETRÓLEO	325

FIGURA 160: CADEIA DE FORNECIMENTO EM P&G OFFSHORE.....	326
FIGURA 161: MATRIZ DE DIRECIONAMENTO PARA DESENVOLVIMENTO DOS SEGMENTOS OFFSHORE.....	327
FIGURA 162: EVOLUÇÃO DO COMÉRCIO INTERNACIONAL DE VIDRO PLANO INCOLOR (2013-2016)	361
FIGURA 163: PARTICIPAÇÃO (%) NO VALOR DA COMPOSIÇÃO DA PAUTA DE EXPORTAÇÃO BRASILEIRA (1997-2015)	366
FIGURA 164: PERDAS BRUTAS DE ARRECADAÇÃO COM A LEI KANDIR NAS EXPORTAÇÕES DE PRODUTOS BÁSICOS E SEMIELABORADOS, POR UNIDADES FEDERATIVAS EM 2015 (R\$ 1.000.000,00 – VALORES CORRIGIDOS IPCA Dez/2015)	367
FIGURA 165: FUNDO CLIMA – PROJETOS CONTRATOS POR ÁREA DE ATUAÇÃO (2011-2014)	371
FIGURA 166 - EMISSÕES DE PROCESSOS INDUSTRIAIS E TRATAMENTO DE RESÍDUOS	375
FIGURA 167: PROJEÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂ NA PRODUÇÃO DO CARVÃO VEGETAL EMPREGADO NA FABRICAÇÃO DE FERRO GUSA	382
FIGURA 168: A RELAÇÃO DO SETOR INDÚSTRIA COM OS DEMAIS SETORES DA NDC BRASILEIRA.....	389
FIGURA 169: LIMITES DE EMISSÃO PARA POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CELULOSE DA RESOLUÇÃO Nº 436/2011.....	394
FIGURA 170: LIMITES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO DA RESOLUÇÃO Nº 436/2011 PARA FÁBRICAS COM CAPACIDADE DE PRODUÇÃO ACIMA DE 120.000 TONELADAS POR ANO	395
FIGURA 171: LIMITES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO DA RESOLUÇÃO Nº 436/2011 PARA FÁBRICAS COM CAPACIDADE DE PRODUÇÃO IGUAL OU MENOS QUE 120.000 TONELADAS POR ANO	396
FIGURA 172: LIMITES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PARA AS FONTES FIXAS EXISTENTES NAS UNIDADES DE FABRICAÇÃO DE FERTILIZANTES DE ACORDO COM AS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011.....	397
FIGURA 173: LIMITES DE EMISSÃO PARA FONTES FIXAS EXISTENTES NA FABRICAÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO DE ACORDO COM AS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011	397
FIGURA 174: LIMITES DE EMISSÃO PARA FONTES FIXAS EXISTENTES NA FABRICAÇÃO DE ÁCIDO NÍTRICO DE ACORDO COM AS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011	398
FIGURA 175: LIMITES DE EMISSÃO PARA FONTES FIXAS EXISTENTES NA FABRICAÇÃO DE ÁCIDO FOSFÓRICO DE ACORDO COM AS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011	398
FIGURA 176: LIMITES DE EMISSÃO PARA FONTES FIXAS EXISTENTES NAS SIDERÚRGICAS INTEGRADAS E SEMI-INTEGRADAS DE ACORDO COM AS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011	399

FIGURA 177: PRAZOS (EM ANOS) PARA ATENDIMENTO DOS LIMITES ESTABELECIDOS NA RESOLUÇÃO CONAMA 436/2011 NA SIDERURGIA.	400
FIGURA 178: LIMITES DE EMISSÃO PARA FONTES FIXAS EXISTENTES NA PRODUÇÃO DE CIMENTO PORTLAND DE ACORDO COM AS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011	401
FIGURA 179: LIMITES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE VIDROS DAS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011	402
FIGURA 180: LIMITES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE CALOR A PARTIR DA COMBUSTÃO EXTERNA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL DE ACORDO COM AS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011	403
FIGURA 181: LIMITES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE CALOR A PARTIR DA COMBUSTÃO EXTERNA DE GÁS NATURAL DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO Nº 436/2011	403
FIGURA 182: LIMITES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE CALOR A PARTIR DA COMBUSTÃO DE BIOMASSA DE CANA-DE AÇÚCAR DE ACORDO COM AS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011	404
FIGURA 183: LIMITES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE CALOR A PARTIR DA COMBUSTÃO EXTERNA DE DERIVADOS DE MADEIRA DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO Nº 436/2011	404
FIGURA 184: LIMITES DE EMISSÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO PROVENIENTES DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE CALOR A PARTIR DA COMBUSTÃO DE BIOMASSA PARA POTÊNCIA TÉRMICA MÁXIMA DE 10 MW DE ACORDO COM AS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011	405
FIGURA 185: LIMITES DE EMISSÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO PROVENIENTES DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE CALOR A PARTIR DA COMBUSTÃO EXTERNA DE DERIVADOS DE MADEIRA PARA POTÊNCIA TÉRMICA MÁXIMA DE 10 MW DE ACORDO COM AS RESOLUÇÕES Nº 382/2006 E Nº 436/2011	405
FIGURA 186: CUSTOS DE PRODUÇÃO DE CELULOSE DE FIBRA NO BRASIL E NO MUNDO	410
FIGURA 187: VARIAÇÃO DOS PREÇOS DA CELULOSE X ESTOQUES MUNDIAIS EM DIAS DE CONSUMO.....	411
FIGURA 188: SPREAD DE RESINAS PETROQUÍMICAS (US\$/T).....	414
FIGURA 189: PREÇOS MENSIS DO ALUMÍNIO PUBLICADOS PELA LME	418

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PERFIL DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DOS SUBSETORES INDUSTRIAIS ANALISADOS (GgCO ₂ EQUIVALENTES - ANO 2010)	26
TABELA 2: EMISSÕES DE PROCESSO DO SETOR DE PAPEL E CELULOSE.	28
TABELA 3: EMISSÕES DE PROCESSO EM CO ₂ EQUIVALENTE DO SETOR DE PAPEL E CELULOSE.....	28
TABELA 4: EMISSÕES DE ENERGIA NO SETOR DE PAPEL E CELULOSE	28
TABELA 5: EMISSÕES DE ENERGIA DO SETOR DE PAPEL E CELULOSE CONTABILIZADAS EM CO ₂ EQUIVALENTE.....	29
TABELA 6: EMISSÕES DE PROCESSO DO SETOR DE QUÍMICA.....	30
TABELA 7: EMISSÕES DE PROCESSO EM CO ₂ EQUIVALENTE DO SETOR DE QUÍMICA	31
TABELA 8: EMISSÕES DE ENERGIA DO SETOR DE QUÍMICA	32
TABELA 9: EMISSÕES DE ENERGIA DO SETOR DE QUÍMICA CONTABILIZADAS EM CO ₂ EQUIVALENTE	32
TABELA 10: EMISSÕES DE PROCESSO DO SETOR DE CIMENTO	34
TABELA 11: EMISSÕES DE ENERGIA DO SETOR DE CIMENTO.....	35
TABELA 12: EMISSÃO DE CO ₂ EQUIVALENTE DEVIDO AO CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR DE CIMENTO.....	35
TABELA 13: EMISSÕES DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CAL NO BRASIL	37
TABELA 14: CONSUMO DE ENERGIA E PRODUÇÃO NO SETOR DE CAL.....	38
TABELA 15: VALORES CALCULADOS PARA O CONSUMO DE ENERGIA DE CAL EM 2010	38
TABELA 16: EMISSÕES DE ENERGIA CALCULADAS PARA O SETOR DE CAL.....	39
TABELA 17: EMISSÕES (GgCO _{2eq}) DE PROCESSO DO SETOR DE VIDRO	40
TABELA 18: CONSUMO DE ENERGIA E PRODUÇÃO NO SETOR DE VIDRO	40
TABELA 19: PROJEÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR DE VIDRO (2007 – 2010)	40
TABELA 20: EMISSÕES DE ENERGIA CALCULADAS PARA O SETOR DE VIDRO	41
TABELA 21: EMISSÕES DE PROCESSO DO SETOR DE FERRO-GUSA E AÇO	42
TABELA 22: EMISSÕES DE PROCESSO CONTABILIZADAS EM CO ₂ EQUIVALENTE	42
TABELA 23: EMISSÕES DE ENERGIA NO SETOR DE FERRO-GUSA E AÇO.....	43
TABELA 24: EMISSÕES DE ENERGIA CONTABILIZADAS EM CO ₂ EQUIVALENTE	44
TABELA 25: EMISSÕES DE CO ₂ DE PROCESSO DO SETOR DE ALUMÍNIO BRASILEIRO	45

TABELA 26: EMISSÕES DE OUTROS GEE DE PROCESSO DO SETOR DE ALUMÍNIO BRASILEIRO	46
TABELA 27: EMISSÕES DE CO ₂ EQUIVALENTE DE PROCESSO DO SETOR DE ALUMÍNIO BRASILEIRO.....	47
TABELA 28: CONSUMO DE ENERGÉTICOS NO SETOR DE ALUMÍNIO	48
TABELA 29: EMISSÕES DE ENERGIA CALCULADAS PARA O SETOR DE ALUMÍNIO	48
TABELA 30: RESUMO DOS DADOS DE ALGUMAS BATANALISADAS	64
TABELA 31: POTENCIAIS DE ABATIMENTO PARA AS OPÇÕES TECNOLÓGICAS DA INDÚSTRIA QUÍMICA.....	78
TABELA 32: CONSUMO DE ENERGIA PARA DIFERENTES FORNOS DE CIMENTO	82
TABELA 33: CUSTOS ESTIMADOS PARA O SISTEMA DE CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CLÍNQUER	84
TABELA 34: TIPO DE COMBUSTÍVEIS E GERAÇÃO DE VAPOR E/OU ELETRICIDADE CONSIDERADAS NO ESTUDO	97
TABELA 35: CUSTO TOTAL RELATIVO A OPÇÕES A, B, C E D.....	98
TABELA 36: FOOTPRINT DE SISTEMAS DE CAPTURA EM PLANTAS CIMENTEIRAS POR REGIÃO	98
TABELA 37: RESUMO DE ALGUMAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ANALISADAS	99
TABELA 38: USO DA ENERGIA NO SETOR DE VIDRO [TEP]	103
TABELA 39: CONSUMOS ENERGÉTICOS ESPECÍFICOS TÍPICOS NA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO BRASILEIRA.....	103
TABELA 40: INFORMAÇÕES TÉCNICAS DAS BATs PARA A ROTA DE ALTO-FORNO	124
TABELA 41: INFORMAÇÕES TÉCNICAS DAS BATs PARA A ROTA DE ALTO-FORNOS ELÉTRICOS A ARCO	127
TABELA 42: POTENCIAIS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA E CUSTOS DAS MEDIDAS	131
TABELA 43: MEDIDAS DE MITIGAÇÃO E CUSTOS DE ABATIMENTO CALCULADOS	133
TABELA 44: PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE DE 2003 A 2013 (1.000 TONELADAS)	150
TABELA 45: MAIORES PRODUTORES DE CIMENTO (MILHÕES DE TONELADAS).....	199
TABELA 46: PRODUÇÃO POR GRUPO INDUSTRIAL (MIL TONELADAS)	211
TABELA 47: PRODUÇÃO ANUAL DE CIMENTO PORTLAND POR ESTADOS E REGIÕES BRASILEIRAS (EM 10 ⁶ KG).....	212
TABELA 48: ESPECIFICAÇÕES E TIPOS DE CIMENTO PORTLAND NO BRASIL.....	213
TABELA 49: PRODUÇÃO ANUAL DE CIMENTO PORTLAND, SEGUNDO OS TIPOS (10 ⁶ KG)	214
TABELA 50: CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE VIDROS NO BRASIL SEGUNDO LOCALIZAÇÃO E TIPO DE VIDRO	215
TABELA 51: PRODUÇÃO DA SIDERURGIA MUNDIAL E BRASILEIRA DE AÇO BRUTO – MILHÕES DE TONELADAS	240
TABELA 52: PRODUÇÃO BRASILEIRA DE AÇO BRUTO – 2012	242

TABELA 53: PRODUÇÃO NACIONAL DE SEMI-ACABADOS PARA VENDAS – 10 ³ T.....	243
TABELA 54: PRODUÇÃO NACIONAL DE LAMINADOS – 10 ³ T	244
TABELA 55: PRODUÇÃO DE AÇO BRUTO POR PROCESSO DE ACIARIA – 2012.....	244
TABELA 56: FORNOS ELÉTRICOS A ARCO INSTALADOS NO BRASIL EM 2008.....	245
TABELA 57: PRODUÇÃO NACIONAL DE AÇO BRUTO POR EMPRESA – 10 ³ T	249
TABELA 58: CAPACIDADE INSTALADA DAS SIDERÚRGICAS BRASILEIRAS EM 2012	250
TABELA 59: DISTRIBUIÇÃO REGIONAL DE PRODUÇÃO DE AÇO BRUTO EM 2012	251
TABELA 60: PRODUÇÃO INDEPENDENTE DE FERRO-GUSA NO BRASIL.....	253
TABELA 61: PARTICIPAÇÃO DO APOIO DO BNDES NA INDÚSTRIA DE CIMENTO (2007-2014).....	308
TABELA 62: PARTICIPAÇÃO DO APOIO DO BNDES NA SIDERURGIA – AÇO (2007-2014)	310
TABELA 63: PARTICIPAÇÃO DO APOIO DO BNDES NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE – CELULOSE (2007-2014).....	312
TABELA 64: PARTICIPAÇÃO DO APOIO DO BNDES NA INDÚSTRIA QUÍMICA (QUÍMICA 1– PETROQUÍMICA) (2007-2013).....	313
TABELA 65: PARTICIPAÇÃO DO APOIO DO BNDES NA INDÚSTRIA QUÍMICA (QUÍMICA 4– FARMACÊUTICA) (2007-2014).....	314
TABELA 66: PRÉ-SAL: VETOR INVESTIMENTO, VETOR IMPORTAÇÃO E VETOR IMPOSTOS.....	327
TABELA 67–PRINCIPAIS POLÍTICAS DE INCENTIVO AO PAPEL DE MEADOS DO SÉCULO XX	330
TABELA 68 – PRIMEIRO E SEGUNDO PROGRAMA NACIONAL DE PAPEL E CELULOSE	331
TABELA 69: PROCEL – INVESTIMENTOS E RESULTADOS OBTIDOS (1986-2013)	335
TABELA 70: FUNDO CLIMA – PLANO ANUAL DE APLICAÇÃO DOS RECURSOS FINANCEIROS (2011)	370
TABELA 71: METAS VOLUNTÁRIAS DE REDUÇÕES DE EMISSÕES DE GEE NO BRASIL.....	372
TABELA 72: EMISSÕES DE PROCESSOS INDUSTRIAIS E TRATAMENTO DE RESÍDUOS (MIL tCO ₂ EQ)	374
TABELA 73: PLANO SIDERURGIA –EMISSÕES (MtCO ₂ EQ) EM 2020 SEGUNDO OS DIFERENTES CENÁRIOS.....	381
TABELA 74: NDC BRASILEIRA – EMISSÕES POR SETOR (MILHÕES tCO ₂ EQ – GWP 100)	387
TABELA 75: ÍNDICES DE RAZÃO DE CONCENTRAÇÃO DOS SETORES SELECIONADOS DO ESTUDO, 2014	441

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2: TECNOLOGIAS ATUAIS DO SETOR DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO.....	130
QUADRO 3: TECNOLOGIAS PARA REDUÇÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO E DE CONTROLE DE EMISSÕES DO SETOR DE ALUMÍNIO	131
QUADRO 4: TIPOS DE CELULOSE E PAPEL PRODUZIDOS.....	152

QUADRO 5: USINAS SIDERÚRGICAS BRASILEIRAS - PRODUTOS, LOCALIZAÇÃO E TIPO	251
QUADRO 6: PLANO INDÚSTRIA – PLANO DE AÇÃO	379
QUADRO 7: SÍNTESE DAS POLÍTICAS E SEUS RESPECTIVOS INSTRUMENTOS PARA O SETOR INDUSTRIAL	407

1 INTRODUÇÃO

Este relatório é parte do Produto 2 do contrato intitulado “Elaboração de Estudos Setoriais (Energia Elétrica, Combustíveis, Indústria e Agropecuária) e Proposição de Opções de Desenho de Instrumentos de Precificação de Carbono”, firmado pelo Ministério da Fazenda com suporte do Banco Mundial, como parte do Componente 1 da fase de implementação da Parceria para Preparação de Instrumentos de Mercado (*Partnership for Market Readiness* - PMR) no Brasil. O objeto da análise deste relatório é o setor de Indústria. Os seguintes subsetores do setor industrial são considerados devido à relevância de suas emissões: Papel e Celulose, Química, Cimento, Cal, Vidro, Ferro e Aço e Alumínio.

O Produto 2 consistiu em três atividades que se refletem nos capítulos deste sumário: (1) uma descrição quantitativa e qualitativa das emissões de gases de efeito estufa e das melhores tecnologias de controle disponíveis para os subsetores industriais; (2) uma caracterização econômica dos segmentos selecionados da indústria brasileira e (3) um mapeamento geral de políticas e seus instrumentos existentes em cada setor/subsetor. Por último, são apresentadas as considerações finais que apresenta uma conclusão e as próximas etapas do projeto.

2 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E ANÁLISE DO PERFIL DE EMISSÕES DE GEE

A presente seção consiste na descrição quantitativa e qualitativa das emissões de gases de efeito estufa e das melhores tecnologias de controle disponíveis para os subsetores industriais de Alumínio, Cal, Cimento, Ferro-Gusa e Aço, Papel e Celulose, Química e Vidro. À exceção dos subsetores cal e vidro, o documento está fortemente baseado nos resultados do estudo “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chaves do Brasil” (BRASIL, 2017b), que avaliou cenários de longo prazo com ênfase no papel brasileiro para mitigação das mudanças climáticas, identificando variáveis-chave que afetam o desenvolvimento dos setores de energia e uso da terra³. Cabe ressaltar que, apesar de estar baseada em estudo um que realizou uma análise integrada, analisando a aditividade de medidas setoriais de forma consistente, a presente pesquisa realiza uma análise setorial, com foco nas melhores

³ Este estudo utilizou *soft-links* entre três grandes ferramentas desenvolvidas no Brasil: um modelo CGE, denominado EFES, que fornece e garante a consistência macroeconômica da análise; um modelo de otimização do sistema energético, denominado MSB 8000, que fornece diferentes trajetórias para o sistema energético brasileiro, de forma técnica-econômica bastante detalhada (incluindo emissões de GEE provenientes da combustão de combustíveis, processos industriais, emissões fugitivas e tratamento de resíduos); e um modelo de otimização do uso da terra, denominado OTIMIZAGRO, que é capaz de otimizar a resolução micro espacial do setor AFOLU no Brasil. As três ferramentas foram integradas para garantir que os resultados do sistema de energia fossem consistentes com os resultados macroeconômicos, enquanto também concorda com a evolução do uso da terra no Brasil (custo e produtividade e demanda final de energia do setor agrícola). Seus resultados são bastante consistentes e muito detalhados, podendo indicar aonde e a que nível de custo diferentes opções de mitigação podem ser adicionadas para ajudar a lidar com a NDC (Contribuição Nacionalmente Determinada) brasileira.

tecnologias disponíveis ou em fase de pesquisa e desenvolvimento a serem aplicadas no setor industrial.

2.1 ANÁLISE DO PERFIL DE EMISSÕES DE GEE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA

Nesse documento foram levantadas informações referentes às emissões de sete subsetores industriais brasileiros (Alumínio, Cal, Cimento, Ferro-Gusa e Aço, Papel e Celulose, Química e Vidro). As emissões foram segregadas em “Emissões de Processo” e “Emissões de Energia” conforme a classificação do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCTI, 2015).

A compilação dos resultados obtidos é mostrada na Tabela 1, indicando um total de 121.493 GgCO₂ equivalentes no ano de 2010, sendo 61,4% desse valor associado a emissões de processo de produção industrial, enquanto o restante (38,6%) relacionado ao consumo de energéticos.

Tabela 1: Perfil de Emissões de Gases de Efeito Estufa dos subsetores industriais analisados (GgCO₂ equivalentes - ano 2010)

Subsetor	Energia ⁴	Processo	Total por subsetor	Percentual
Alumínio	3.702	3.708	7.410	6,1%
Cal	2.148	5.950	8.098	6,7%
Cimento	14.619	21.288	35.907	29,6%
Ferro-Gusa e Aço	5.557	39.794	45.351	37,3%
Papel e Celulose	5.455	292	5.747	4,7%
Química	13.949	3.488	17.438	14,4%
Vidro	1.429	114	1.543	1,3%
TOTAL	46.859	74.634	121.493	100,0%

Fonte: Elaboração a partir de Brasil (2016).

A Figura 2 mostra a participação cada subsetor analisado nas emissões totais de CO₂ destes subsectores, sendo o de Ferro-Gusa e Aço o mais significativo, responsável por 37% das emissões, seguido pelos subsectores de Cimento e Química, com cerca de 30% e 14% respectivamente.

A Figura 3 faz a separação setorial para as emissões de energia e de processos. O subsetor de Cimento e de Química apresentaram os dois maiores volumes de emissões de energia, com cerca de 30%, enquanto o subsetor de Ferro-Gusa e Aço lidera as emissões de processo com um total de 53% (os

⁴ Relativamente ao escopo das emissões de Energia, os dados são provenientes do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. São consideradas as emissões dos gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, e incluídos no Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.

energéticos utilizados também como redutores na produção de gusa são considerados como emissão de processo).

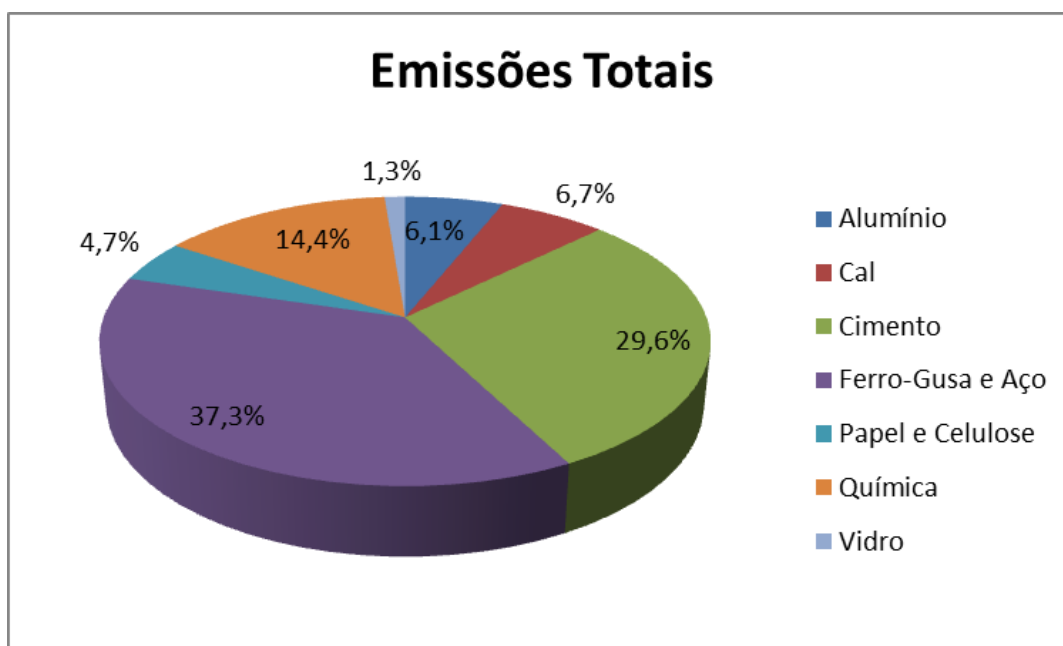


Figura 2: Perfil de emissões dos subsetores analisados

Fonte: Elaborado pelo autor.

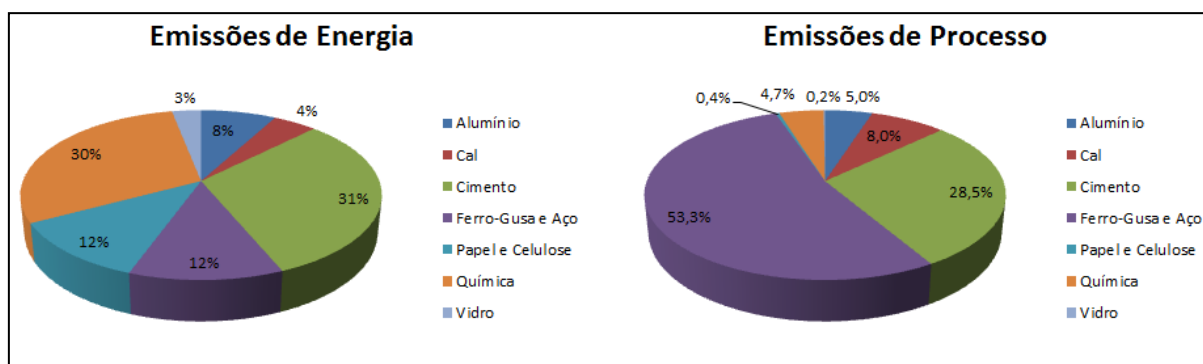


Figura 3: Desagregação das Emissões de Energia e Processos da indústria

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.1 PAPEL E CELULOSE

As emissões de GEE relacionadas ao processo industrial para produção de papel e celulose são baixas quando comparadas com os demais setores industriais. A produção da celulose química, realizada prioritariamente pelo processo Kraft, é emissor indireto de GEE, dado que durante a preparação da celulose pelo processo Kraft, reações químicas são fonte de emissões de CO, NOx e NMVOC, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Emissões de Processo do Setor de Papel e Celulose.

Ano	GgCO	Gg Nox	Gg NMVOC
1990	20,1	5,4	13,3
1994	28,7	7,7	19
2000	37,2	10	24,6
2005	52,6	14,1	34,8
2010	73	19,57	48,3

Fonte: BRACELPA (2011).

A Tabela 3 mostra as emissões de processo do setor convertidas em CO₂ equivalente.

Tabela 3: Emissões de Processo em CO₂ equivalente do Setor de Papel e Celulose

Ano	GgCO	Gg Nox	Gg NMVOC	Total
1990	31,6	-	48,8	80,4
1994	45,1	-	69,7	114,8
2000	58,5	-	90,2	148,7
2005	82,7	-	127,6	210,3
2010	114,7	-	177,1	291,8

Fonte: Elaborado pelo autor.

As emissões de energia são consideravelmente mais significativas, conforme mostradas na Tabela 4.

Tabela 4: Emissões de energia no Setor de Papel e Celulose

Ano	Gg CO ₂	GG CH ₄	Gg N ₂ O	GG CO	Gg NO _x	Gg NMVOC
1990	2.464	1,0	0,39	254,4	14,3	7,9
1991	2.725	1,0	0,38	267,1	15,0	7,8
1992	3.120	1,2	0,43	313,8	17,2	9,0
1993	2.909	1,2	0,45	355,8	17,9	8,6
1994	2.954	1,2	0,49	381,4	18,7	8,9
1995	3.384	1,2	0,49	369,1	19,2	9,0
1996	4.013	1,2	0,46	387,7	20,4	8,2
1997	3.715	1,2	0,46	396,4	20,1	8,0
1998	3.956	1,4	0,55	442,6	22,0	9,5
1999	4.264	1,4	0,57	470,9	23,2	9,4
2000	4.320	1,5	0,60	483,5	23,8	10,2
2001	4.086	1,5	0,60	481,3	23,2	10,8
2002	4.290	1,5	0,62	522,6	24,5	11,0

Ano	Gg CO ₂	GG CH ₄	Gg N ₂ O	GG CO	Gg NO _x	Gg NMVOC
2003	3.993	1,7	0,69	601,4	26,1	12,5
2004	3.749	1,7	0,72	635,9	26,5	12,0
2005	3.840	1,8	0,75	673,1	28,0	12,7
2006	3.246	2,0	0,82	725,2	28,3	14,5
2007	3.529	2,1	0,86	771,4	30,2	15,4
2008	3.420	2,2	0,91	818,1	31,6	16,3
2009	3.372	2,3	0,96	868,2	33,1	17,1
2010	3.632	2,5	1,03	938,9	35,7	18,5

Fonte: MCTI (2015).

Sendo os valores de emissões equivalentes de CO₂ mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Emissões de Energia do setor de Papel e Celulose contabilizadas em CO₂ Equivalente

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	Total em CO ₂ eq
1990	2.464	2,8	103	400	-	29	2.999
1991	2.725	2,8	101	420	-	29	3.277
1992	3.120	3,3	114	493	-	33	3.763
1993	2.909	3,3	119	559	-	32	3.622
1994	2.954	3,3	130	599	-	33	3.719
1995	3.384	3,3	130	580	-	33	4.130
1996	4.013	3,3	122	609	-	30	4.778
1997	3.715	3,3	122	623	-	29	4.492
1998	3.956	3,9	146	696	-	35	4.836
1999	4.264	3,9	151	740	-	34	5.193
2000	4.320	4,1	159	760	-	37	5.280
2001	4.086	4,1	159	756	-	40	5.045
2002	4.290	4,1	164	821	-	40	5.320
2003	3.993	4,7	183	945	-	46	5.171
2004	3.749	4,7	191	999	-	44	4.988
2005	3.840	5,0	199	1.058	-	47	5.148
2006	3.246	5,5	217	1.140	-	53	4.662
2007	3.529	5,8	228	1.212	-	56	5.031
2008	3.420	6,1	241	1.286	-	60	5.013
2009	3.372	6,3	254	1.364	-	63	5.060
2010	3632	6,9	273,0	1475,4	-	68	5.455

Fonte: Elaborado pelo autor.

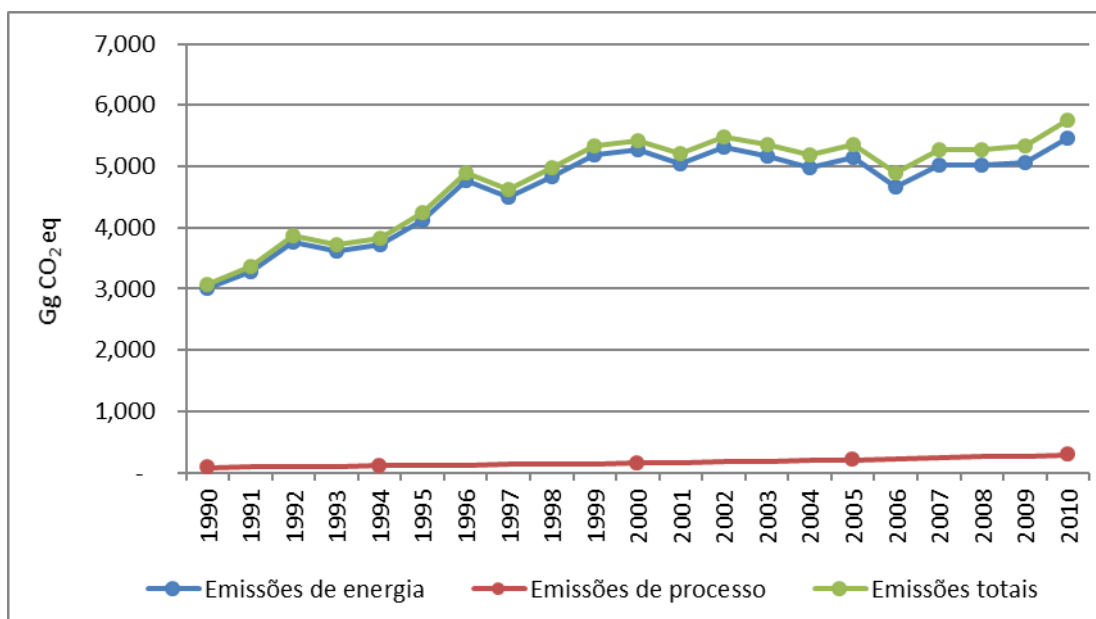


Figura 4: Emissões de GEEs do subsetor de Papel e Celulose

Fonte: MCTI (2015).

2.1.2 QUÍMICA

O setor de Química brasileiro atingiu no ano de 2010 o total de emissões de processo de 3.488 GgCO₂ equivalente, conforme explicitado na Tabela 7.

Tabela 6: Emissões de Processo do Setor de Química

Ano	Gg CO ₂	Gg CH ₄	Gg N ₂ O	Gg CO	Gg Nox	Gg NMVOC ⁵
1990	2.373	5,26	10,69	0,5	0,7	26,5
1991	2.161	5,25	13,46	0,7	0,8	24,8
1992	2.196	5,41	12,55	0,6	0,8	24,7
1993	2.422	6,08	16,15	0,8	0,9	27,8
1994	2.468	6,68	16,30	0,8	0,9	30,6
1995	2.548	6,60	17,44	0,9	0,9	31,4
1996	2.549	6,60	13,62	0,7	0,8	31,4
1997	2.690	7,46	12,12	0,6	0,8	33,6
1998	2.591	7,88	19,08	1,0	0,9	34,9
1999	2.861	8,37	18,99	1,0	0,9	37,5

⁵ Conforme metodologia utilizada na elaboração do inventário nacional brasileiro, o escopo do NMVOC contempla os compostos orgânicos voláteis não-metânicos.

Ano	Gg CO ₂	Gg CH ₄	Gg N ₂ O	Gg CO	Gg NOx	Gg NMVOC ⁵
2000	2.615	9,02	19,94	1,0	0,9	42,9
2001	2.314	8,59	16,25	0,8	0,9	40,7
2002	2.507	8,39	20,29	1,1	1,0	42,2
2003	2.720	8,93	18,63	1,0	0,9	45,3
2004	2.974	9,44	25,99	1,4	1,1	49,1
2005	2.954	9,38	22,83	1,2	1,1	49,0
2006	3.017	12,46	24,78	1,3	1,1	53,8
2007	3.054	12,73	2,94	1,4	1,1	56,4
2008	3.017	11,47	2,28	1,4	1,2	56,6
2009	2.733	11,87	1,01	1,4	1,2	59,5
2010	2.983	11,91	0,93	1,4	1,1	61,1

Fonte: MCTI (2015).

Sendo as emissões de processo em Gg de CO₂ equivalente detalhadas na Tabela 7.

Tabela 7: Emissões de Processo em CO₂ equivalente do Setor de Química

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NOx	NMVOC	Total Gg CO ₂ eq
1990	2.373	14,5	2.833	0,8	-	97,2	5.318
1991	2.161	14,4	3.567	1,1	-	90,9	5.834
1992	2.196	14,9	3.326	0,9	-	90,6	5.628
1993	2.422	16,7	4.280	1,3	-	101,9	6.822
1994	2.468	18,4	4.320	1,3	-	112,2	6.919
1995	2.548	18,2	4.622	1,4	-	115,1	7.304
1996	2.549	18,2	3.609	1,1	-	115,1	6.293
1997	2.690	20,5	3.212	0,9	-	123,2	6.046
1998	2.591	21,7	5.056	1,6	-	128,0	7.798
1999	2.861	23,0	5.032	1,6	-	137,5	8.055
2000	2.615	24,8	5.284	1,6	-	157,3	8.083
2001	2.314	23,6	4.306	1,3	-	149,2	6.794
2002	2.507	23,1	5.377	1,7	-	154,7	8.063
2003	2.720	24,6	4.937	1,6	-	166,1	7.849
2004	2.974	26,0	6.887	2,2	-	180,0	10.070
2005	2.954	25,8	6.050	1,9	-	179,7	9.211
2006	3.017	34,3	6.567	2,0	-	197,3	9.817
2007	3.054	35,0	779	2,2	-	206,8	4.077
2008	3.017	31,5	604	2,2	-	207,5	3.862

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	Total Gg CO ₂ eq
2009	2.733	32,6	268	2,2	-	218,2	3.254
2010	2.983	32,8	246	2,2	-	224,0	3.488

Fonte: Elaborado pelo autor.

As emissões de energia do setor de Química são exibidas na Tabela 8.

Tabela 8: Emissões de Energia do Setor de Química

Ano	Gg CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC
1990	8.606	0,8	0,12	29,5	27,3	2,5
1991	8.811	0,8	0,12	28,4	27,1	2,4
1992	9.080	0,7	0,10	23,8	26,7	2,2
1993	8.578	0,7	0,11	25,0	26,9	2,3
1994	9.114	0,8	0,12	27,5	31,7	2,8
1995	10.057	0,8	0,11	25,1	36,5	2,9
1996	11.493	0,8	0,11	20,4	41,5	2,3
1997	13.352	0,9	0,12	18,6	47,1	2,4
1998	12.343	1,0	0,11	17,9	45,4	2,4
1999	13.551	1,1	0,13	20,2	54,6	3,0
2000	13.942	1,3	0,13	20,4	59,4	3,3
2001	13.930	1,4	0,14	18,5	58,7	3,2
2002	14.161	1,7	0,15	17,8	60,6	3,3
2003	13.508	2,0	0,15	20,3	59,4	3,2
2004	14.353	2,3	0,17	20,9	61,5	3,4
2005	14.624	2,4	0,18	21,5	61,3	3,4
2006	14.880	2,5	0,18	22,1	62,5	3,4
2007	15.598	2,6	0,19	23,2	69,9	3,8
2008	14.283	2,6	0,18	21,9	60,0	3,3
2009	14.446	2,5	0,18	21,6	61,7	3,4
2010	13.847	2,5	0,18	22,5	58,3	3,4

Fonte: MCTI (2015).

Tabela 9: Emissões de Energia do setor de Química contabilizadas em CO₂ Equivalente

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	Total GgCO ₂ eq
1990	8.606	2,2	31,8	46,4	-	9,2	8.696
1991	8.811	2,2	31,8	44,6	-	8,8	8.898
1992	9.080	1,9	26,5	37,4	-	8,1	9.154

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM VOC	Total GgCO ₂ eq
1993	8.578	1,9	29,2	39,3	-	8,4	8.657
1994	9.114	2,2	31,8	43,2	-	10,3	9.201
1995	10.057	2,2	29,2	39,4	-	10,6	10.138
1996	11.493	2,2	29,2	32,1	-	8,4	11.565
1997	13.352	2,5	31,8	29,2	-	8,8	13.424
1998	12.343	2,8	29,2	28,1	-	8,8	12.412
1999	13.551	3,0	34,5	31,7	-	11,0	13.631
2000	13.942	3,6	34,5	32,1	-	12,1	14.024
2001	13.930	3,9	37,1	29,1	-	11,7	14.012
2002	14.161	4,7	39,8	28,0	-	12,1	14.245
2003	13.508	5,5	39,8	31,9	-	11,7	13.597
2004	14.353	6,3	45,1	32,8	-	12,5	14.450
2005	14.624	6,6	47,7	33,8	-	12,5	14.725
2006	14.880	6,9	47,7	34,7	-	12,5	14.982
2007	15.598	7,2	50,4	36,5	-	13,9	15.706
2008	14.283	7,2	47,7	34,4	-	12,1	14.384
2009	14.446	6,9	47,7	33,9	-	12,5	14.547
2010	13.847	6,875	47,7	35,4	-	12,5	13.949

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico abaixo (Figura 5) demonstra a relação entre as emissões de energia e as emissões de processo, evidenciando a discrepância entre esses valores e que a composição do setor se dá, majoritariamente, devido às emissões de energia.

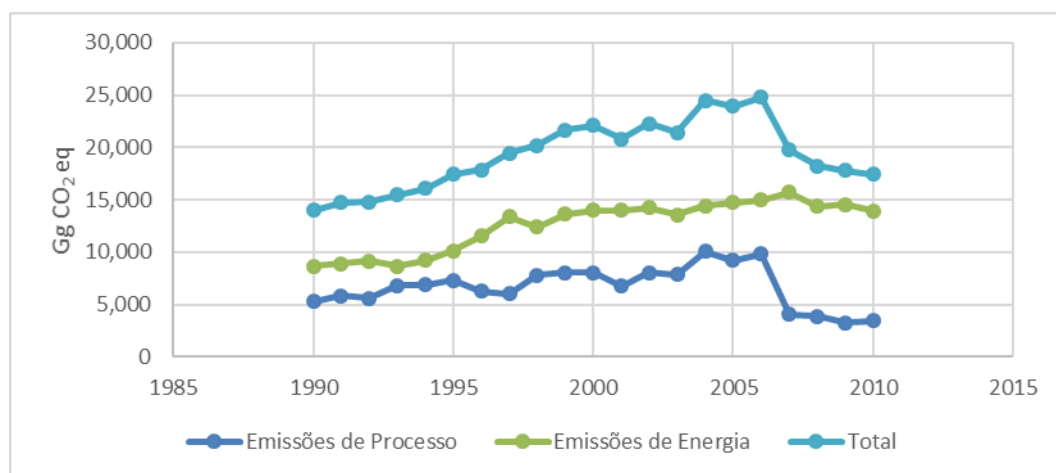


Figura 5: Emissões de GEE do setor químico

Fonte: MCTI (2015).

2.1.3 CIMENTO

O histórico de emissões de gases de efeito estufa de processo do setor de cimento é mostrado na Tabela 10, indicando um total de 21.288 GgCO₂ em 2010. As emissões de energia são apresentadas na Tabela 11. O total de emissões do setor no ano de 2010 foi de 35.907 GgCO_{2eq}⁶.

Tabela 10: Emissões de Processo do Setor de Cimento

Ano	Gg CO ₂	Fator de Emissão de Processo	
		Clínquer	Emissões de CO ₂
		t CO ₂ / t produto	
1991	11.776	0,549	0,428
1992	9.770	0,550	0,409
1993	10.164	0,552	0,409
1994	10.086	0,548	0,400
1995	11.528	0,547	0,408
1996	13.884	0,548	0,401
1997	15.267	0,546	0,401
1998	16.175	0,545	0,405
1999	16.439	0,549	0,409
2000	16.047	0,549	0,402
2001	15.227	0,548	0,386
2002	14.390	0,550	0,370
2003	13.096	0,553	0,373
2004	13.273	0,554	0,369
2005	14.349	0,545	0,371
2006	15.440	0,542	0,369
2007	17.200	0,541	0,369
2008	18.884	0,548	0,363
2009	19.031	0,548	0,368
2010	21.288	0,544	0,360

Fonte: MCTI (2015).

⁶ Representa o somatório das últimas linhas das Tabelas 10 e 12.

Tabela 11: Emissões de Energia do Setor de Cimento

Ano	Gg CO ₂	GgCH ₄	Gg N ₂ O	Gg CO	Gg NO _x	Gg NMVOC
1991	6.585	2,3	0,12	49,3	18,1	2,2
1992	5.149	1,9	0,09	38,7	13,2	1,6
1993	5.131	2,1	0,09	41,5	12,9	1,6
1994	5.060	2,3	0,10	46,9	13,0	1,7
1995	6.073	2,6	0,11	51,4	14,7	1,8
1996	7.184	3,3	0,13	65,9	16,9	2,2
1997	8.635	2,3	0,12	47,1	18,8	1,9
1998	9.389	2,0	0,12	56,3	19,3	3,2
1999	10.152	2,0	0,11	91,5	20,3	6,6
2000	10.512	2,3	0,12	114,2	20,9	8,3
2001	11.031	2,1	0,12	123,1	21,6	9,6
2002	10.278	2,1	0,11	118,7	20,0	9,3
2003	8.886	2,4	0,11	110,1	17,8	8,0
2004	8.129	2,7	0,11	115,6	16,3	8,4
2005	8.951	2,4	0,11	118,6	17,8	9,2
2006	9.901	2,6	0,12	127,6	19,9	10,1
2007	11.115	2,3	0,13	132,0	22,4	11,1
2008	12.328	2,6	0,14	147,2	24,8	12,4
2009	13.639	0,9	0,09	118,4	25,4	10,7
2010	14.259	1,2	0,13	140,3	27,7	14,6

Fonte: MCTI (2015).

Convertendo as emissões dos demais gases de efeito estufa em CO₂ equivalente através dos parâmetros apresentados no Capítulo 7 do *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2006), a Tabela 12 foi elaborada.

Tabela 12: Emissão de CO₂ equivalente devido ao consumo de energia no setor de cimento

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	TOTAL GgCO ₂ eq
1991	6.585	6	32	77	-	66	6.767
1992	5.149	5	24	61	-	48	5.287
1993	5.131	6	24	65	-	47	5.273

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	TOTAL GgCO ₂ eq
1994	5.060	6	27	74	-	48	5.214
1995	6.073	7	29	81	-	54	6.244
1996	7.184	9	34	104	-	62	7.393
1997	8.635	6	32	74	-	69	8.816
1998	9.389	6	32	88	-	71	9.586
1999	10.152	6	29	144	-	74	10.405
2000	10.512	6	32	179	-	77	10.806
2001	11.031	6	32	193	-	79	11.341
2002	10.278	6	29	187	-	73	10.573
2003	8.886	7	29	173	-	65	9.160
2004	8.129	7	29	182	-	60	8.407
2005	8.951	7	29	186	-	65	9.238
2006	9.901	7	32	201	-	73	10.213
2007	11.115	6	34	207	-	82	11.445
2008	12.328	7	37	231	-	91	12.694
2009	13.639	2	24	186	-	93	13.945
2010	14.259	3	34	220	-	102	14.619

Fonte: Elaborado a partir de MCTI (2015) e IPCC (2006).

Uma comparação entre as emissões de processo e as emissões de energia do subsetor de cimento (Figura 6) permite observar que há uma tendência de crescimento das emissões absolutas nos últimos anos, muito por conta do aumento de produção, já que as emissões relativas não apresentam a mesma tendência.

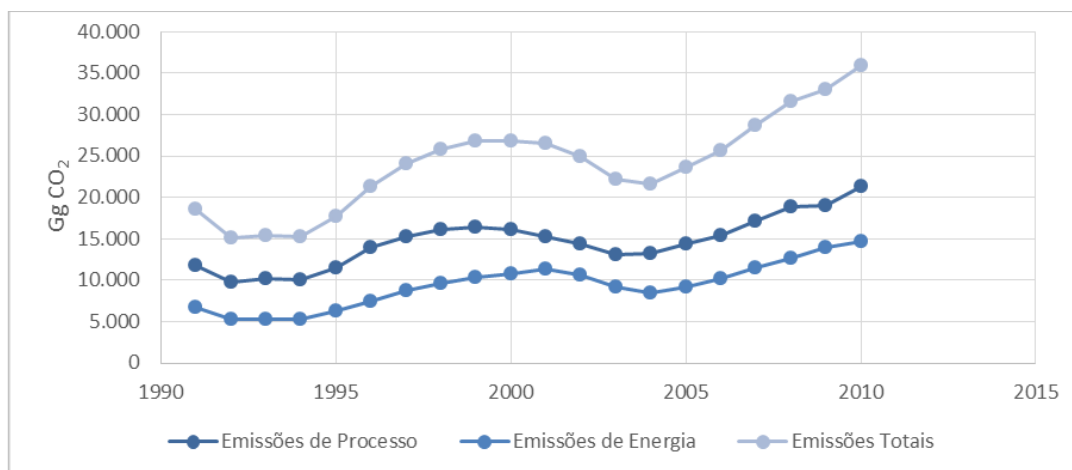


Figura 6: Emissões de GEEs do subsetor de Cimento

Fonte: MCTI (2015).

2.1.4 CAL

As emissões de processo do setor de Cal são mostradas na Tabela 13, onde se observa o valor de 5.950 GgCO₂ para o ano de 2010.

Tabela 13: Emissões do Processo de Produção de Cal no Brasil

	Emissões da Cal Calcítica	Emissões da Cal Magnesiana	Emissões da Cal Dolomítica	Total
Ano	Gg CO ₂			
1990	2.660	629	399	3.688
1991	2.670	664	421	3.755
1992	2.869	660	419	3.948
1993	3.064	720	457	4.241
1994	3.027	655	416	4.098
1995	2.990	681	432	4.104
1996	3.056	729	463	4.248
1997	3.176	711	451	4.338
1998	3.021	686	435	4.141
1999	3.110	743	471	4.325
2000	3.950	647	411	5.008
2001	3.765	640	406	4.811
2002	3.941	621	394	4.956
2003	4.043	624	396	5.064
2004	4.347	709	449	5.505
2005	4.321	634	402	5.356

	Emissões da Cal Calcítica	Emissões da Cal Magnesiana	Emissões da Cal Dolomítica	Total
2006	4.363	640	406	5.410
2007	4.566	673	427	5.666
2008	4.583	678	430	5.690
2009	3.924	695	441	5.060
2010	4.803	702	445	5.950

Fonte: MCTI (2015).

Para a análise das emissões de energia do setor de cal foi usado o consumo de energia detalhado em (CNI, 2010) e mostrado na

Tabela 14, sendo esta a única fonte de informações energéticas detalhada para o setor.

Tabela 14: Consumo de Energia e Produção no Setor de Cal

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Produção (10 ³ tep)	6.300	6.500	6.600	6.500	6.987	7.057
Consumo de energia elétrica (10 ³ tep)	8,13	8,38	8,51	8,38	9,01	9,10
Coque de petróleo e óleo combustível (10 ³ tep)	323	333	338	333	358	362
Gás natural (10 ³ tep)	129	133	135	133	143	144
Lenha e resíduos da madeira (10 ³ tep)	129	133	135	133	143	144
Moinha de carvão mineral (10 ³ tep)	64	66	67	66	71	72

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em CNI (2010).

Com base nas informações da tabela, estimou-se o consumo médio por tonelada de cal produzida para cada um dos energéticos. Dessa forma, sabendo que a produção de cal no ano de 2010 foi de 7.761 mil toneladas, o consumo de energia de cada uma das fontes foi calculado baseado na média dos anos mostrado na Tabela 14, resultando nos valores apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Valores calculados para o consumo de energia de cal em 2010

Ano	2010
Produção (10 ³ t)	7.761
Consumo de energia elétrica (10 ³ tep)	10
Coque de petróleo e óleo combustível (10 ³ tep)	398
Gás natural (10 ³ tep)	159
Lenha e resíduos da madeira (10 ³ tep)	159
Moinha de carvão mineral (10 ³ tep)	79

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em CNI (2010).

Finalmente, fazendo uso dos fatores de emissão de cada energético, é possível determinar as emissões (Tabela 16).

Tabela 16: Emissões de Energia calculadas para o Setor de Cal

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2010
Consumo de energia elétrica (10 ³ tep)	4,8	5,0	5,1	5,0	5,4	5,4	6,0
Coque de petróleo e óleo combustível (10 ³ tep)	1.182,8	1.219,5	1.237,8	1.219,5	1.311,0	1.325,7	1.456,5
Gás natural (10 ³ tep)	303,1	312,4	317,1	312,4	335,9	338,3	372,9
Lenha e resíduos da madeira (10 ³ tep)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Moinha de carvão mineral (10 ³ tep)	253,5	261,5	265,4	261,5	281,3	285,2	312,5
TOTAL	1.744,3	1.798,4	1.825,4	1.798,4	1.933,6	1.954,6	2.147,9

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com o gráfico abaixo (Figura 7), é possível perceber que as emissões de processo são mais relevantes em relação ao total de emissões do setor.

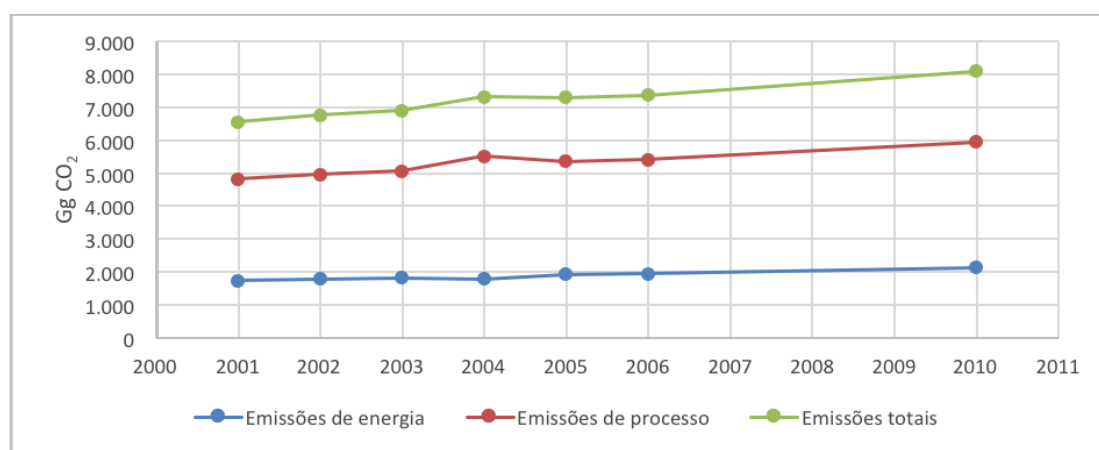


Figura 7: Emissões de GEEs do setor de Cal

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNI (2010).

2.1.5 VIDRO

Segundo a Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI, 2015) as emissões no processo de produção de vidro, que correspondem às emissões de CO₂ por calcinação, atingiram em 2010 o total de apenas 114 GgCO₂, conforme detalhado na Tabela 17.

Tabela 17: Emissões (GgCO_{2eq}) de Processo do Setor de Vidro

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Emissões de Processo	90	103	103	113	116	99	99	102	103	114

Fonte: MCTI (2015).

As emissões de energia não puderam ser obtidas diretamente da TCN nem tampouco indiretamente dos dados do Balanço Energético Nacional, onde o setor de produção de vidros não é detalhado. Logo, uma metodologia semelhante à apresentada para o setor de cal foi aplicada. A Tabela 18 apresenta os consumos energéticos históricos do setor de vidro e sua produção, fazendo uso desses valores foi possível determinar uma média de consumo típico por fonte (tep/tonelada de vidro).

Sabendo a produção de vidro dos anos consequentes (2007 até 2010) foi possível extrapolar o consumo de energéticos fazendo uso da base de dados histórica da Tabela 18.

Tabela 18: Consumo de Energia e Produção no Setor de Vidro

Combustível	Ano - Consumo de Energéticos - 10 ³ TEP					
	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Gás natural	295,4	380,5	423,1	465,3	469,9	481,9
Óleo combustível	124,6	114,8	71,9	70,3	64,2	53,4
GLP	18,2	15,1	11,0	8,7	8,3	7,9
Eleticidade	99,2	116,0	114,4	122,8	122,8	122,8
TOTAL	537,4	626,5	620,3	667,1	665,2	665,9
Produção	2.071	2.412	2.389	2.571	2.561	2.566

Fonte: CNI (2010).

Os resultados da extrapolação do consumo de energéticos por fonte no setor de vidro são mostrados na Tabela 19.

Tabela 19: Projeção do consumo de energia no setor de Vidro (2007 – 2010)

Combustível (10 ³ tep)	Ano									
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gás natural	295,4	380,5	423,1	465,3	469,9	481,9	432	389	441	485
Óleo combustível	124,6	114,8	71,9	70,3	64,2	53,4	53	48	54	60
GLP	18,2	15,1	11,0	8,7	8,3	7,9	7	7	7	8
Eleticidade	99,2	116,0	114,4	122,8	122,8	122,8	112	101	114	125
TOTAL	537,4	626,5	620,3	667,1	665,2	665,9	604	544	617	678
Produção	2.071	2.412	2.389	2.571	2.561	2.566	2.326	2.095	2.375	2.611

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de CNI (2010).

Finalmente, fazendo-se uso dos fatores de emissão de cada energético é possível determinar o perfil de emissões de energia no setor de vidro, mostrados na Tabela 20.

Tabela 20: Emissões de Energia calculadas para o Setor de Vidro

Emissões GgCO ₂										
Combustível	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gás natural	694	894	994	1.093	1.104	1.132	1.014	913	1.036	1.138
Óleo combustível	404	372	233	228	208	173	173	156	176	194
GLP	48	40	29	23	22	21	19	17	20	22
Elettricidade	59	69	68	73	73	73	66	60	68	75
TOTAL	1.206	1.375	1.324	1.417	1.406	1.399	1.273	1.146	1.300	1.429

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com o gráfico abaixo (Figura 8) é possível perceber que nos dois anos em comparação, assim como nos setores anteriores, predomina a emissão de GEE por meio de energia.

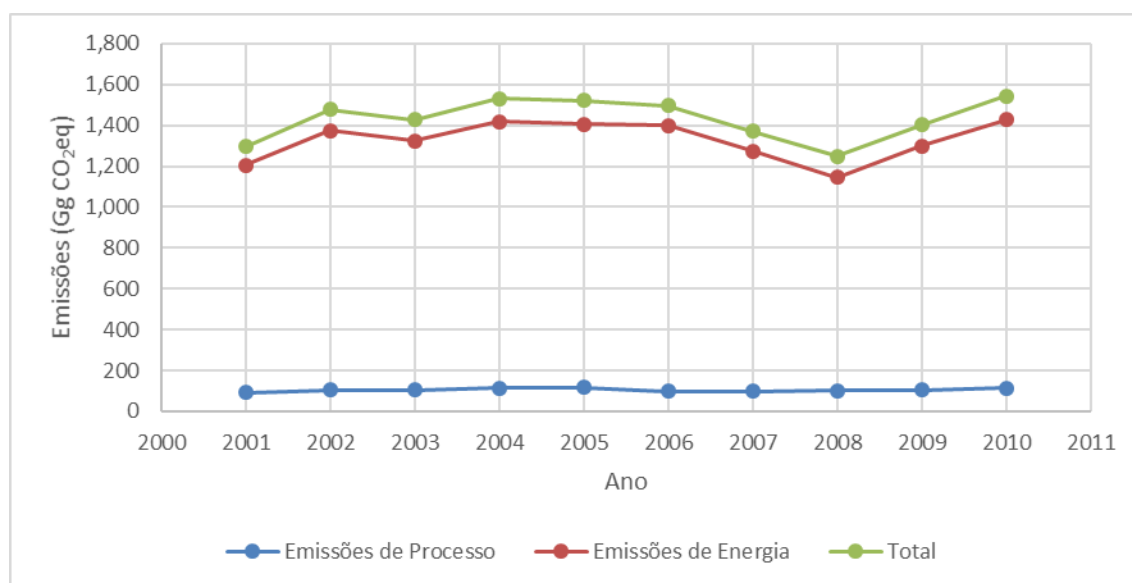


Figura 8: Emissões de GEE do setor de vidro

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em CNI (2010) e MCTI (2015).

2.1.6 FERRO-GUSA E AÇO

O subsetor industrial de Ferro-Gusa e Aço apresenta os maiores índices de emissões de processo dos subsetores analisado, atingindo em 2010 o valor 38.360 GgCO₂, conforme detalhado na Tabela 21.

Tabela 21: Emissões de Processo do Setor de Ferro-Gusa e Aço

Ano	GgCO ₂	GgCH ₄	GgN ₂ O	GgCO	Gg NO _x	Gg NMVOC
1990	21.601	36,8	1,02	775,0	25,5	21,6
1991	26.118	31,1	0,97	669,2	24,1	19,4
1992	26.417	29,0	0,93	628,1	23,2	18,4
1993	28.206	31,8	1,01	686,2	28,8	20,1
1994	29.392	32,8	1,04	708,4	31,6	20,8
1995	30.130	30,1	1,00	656,2	30,8	19,6
1996	30.866	26,2	0,93	577,6	33,6	17,8
1997	32.521	27,4	0,98	603,4	43,7	18,7
1998	33.319	25,2	0,94	558,3	50,8	17,7
1999	31.680	28,7	1,00	623,9	60,2	19,3
2000	35.552	31,0	1,09	676,1	66,4	21,1
2001	34.845	29,1	1,04	637,4	65,8	20,0
2002	37.516	30,2	1,10	662,1	73,2	21,0
2003	38.683	34,4	1,20	745,3	84,6	23,2
2004	39.805	41,4	1,36	888,3	92,3	27,1
2005	37.509	40,6	1,31	867,3	90,8	26,3
2006	36.051	39,2	1,26	836,4	88,9	25,3
2007	39.422	40,4	1,33	865,4	95,6	26,4
2008	39.825	39,6	1,32	849,6	98,2	26,1
2009	31.690	23,1	0,88	508,4	74,6	16,5
2010	38.360	28,6	1,08	633,2	60,1	20,2

Fonte: MCTI (2015).

Tabela 22: Emissões de Processo contabilizadas em CO₂ Equivalente

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	Total GgCO ₂ eq
1990	21.601	101	270	1.218	-	79	23.270
1991	26.118	86	257	1.052	-	71	27.583
1992	26.417	80	246	987	-	67	27.798
1993	28.206	87	268	1.078	-	74	29.713
1994	29.392	90	276	1.113	-	76	30.947
1995	30.130	83	265	1.031	-	72	31.581
1996	30.866	72	246	908	-	65	32.157
1997	32.521	75	260	948	-	69	33.873
1998	33.319	69	249	877	-	65	34.580

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	Total GgCO ₂ eq
1999	31.680	79	265	980	-	71	33.075
2000	35.552	85	289	1.062	-	77	37.066
2001	34.845	80	276	1.002	-	73	36.276
2002	37.516	83	292	1.040	-	77	39.008
2003	38.683	95	318	1.171	-	85	40.352
2004	39.805	114	360	1.396	-	99	41.775
2005	37.509	112	347	1.363	-	96	39.427
2006	36.051	108	334	1.314	-	93	37.900
2007	39.422	111	352	1.360	-	97	41.342
2008	39.825	109	350	1.335	-	96	41.714
2009	31.690	64	233	799	-	61	32.846
2010	38.360	79	286	995	-	74	39.794

Fonte: Elaborado a partir de MCTI (2015) e IPCC (2006).

As emissões de energia do setor são mostradas na Tabela 23 e contabilizadas com CO₂ equivalente na Tabela 24, atingindo em 2010 o valor de 5.557 GgCO₂.

Tabela 23: Emissões de energia no Setor de Ferro-Gusa e Aço

Ano	GgCO ₂	GgCH ₄	GgN ₂ O	GgCO	Gg NO _x	Gg NMVOC
1990	4.373	0,2	0,02	2,5	10,3	1,1
1991	4.565	0,2	0,03	2,7	11,1	1,2
1992	4.850	0,2	0,03	2,8	12,2	1,2
1993	5.070	0,2	0,03	2,9	12,8	1,3
1994	5.318	0,2	0,03	3,1	13,1	1,3
1995	5.387	0,2	0,03	3,2	12,3	1,3
1996	5.352	0,2	0,02	3,2	10,6	1,2
1997	5.201	0,2	0,02	3,2	11,3	1,2
1998	4.560	0,1	0,02	2,9	10,2	1,2
1999	4.268	0,1	0,02	2,9	10,1	1,1
2000	4.620	0,1	0,02	3,2	10,8	1,1
2001	4.470	0,1	0,02	3,1	10,2	1,1
2002	4.722	0,1	0,02	3,3	10,5	1,1
2003	4.796	0,1	0,02	3,3	10,1	1,2
2004	4.839	0,1	0,02	3,4	10,0	1,2
2005	5.297	0,1	0,02	3,7	11,2	1,2
2006	5.279	0,1	0,02	3,7	11,0	1,2

Ano	GgCO ₂	GgCH ₄	GgN ₂ O	GgCO	Gg NO _x	Gg NMVOC
2007	5.733	0,1	0,02	3,8	11,0	1,2
2008	5.590	0,1	0,02	3,7	10,6	1,2
2009	4.322	0,1	0,01	2,9	9,1	1,1
2010	5.540	0,2	0,02	3,7	11,4	1,4

Fonte: MCTI (2015).

Tabela 24: Emissões de Energia contabilizadas em CO₂ Equivalente

Ano	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	Total em CO ₂ eq
1990	4.373	0,6	5,3	3,9	-	4,0	4.387
1991	4.565	0,6	8,0	4,2	-	4,4	4.582
1992	4.850	0,6	8,0	4,4	-	4,4	4.867
1993	5.070	0,6	8,0	4,6	-	4,8	5.088
1994	5.318	0,6	8,0	4,9	-	4,8	5.336
1995	5.387	0,6	8,0	5,0	-	4,8	5.405
1996	5.352	0,6	5,3	5,0	-	4,4	5.367
1997	5.201	0,6	5,3	5,0	-	4,4	5.216
1998	4.560	0,3	5,3	4,6	-	4,4	4.575
1999	4.268	0,3	5,3	4,6	-	4,0	4.282
2000	4.620	0,3	5,3	5,0	-	4,0	4.635
2001	4.470	0,3	5,3	4,9	-	4,0	4.484
2002	4.722	0,3	5,3	5,2	-	4,0	4.737
2003	4.796	0,3	5,3	5,2	-	4,4	4.811
2004	4.839	0,3	5,3	5,3	-	4,4	4.854
2005	5.297	0,3	5,3	5,8	-	4,4	5.313
2006	5.279	0,3	5,3	5,8	-	4,4	5.295
2007	5.733	0,3	5,3	6,0	-	4,4	5.749
2008	5.590	0,3	5,3	5,8	-	4,4	5.606
2009	4.322	0,3	2,7	4,6	-	4,0	4.334
2010	5.540	0,6	5,3	5,8	-	5,1	5.557

Fonte: Elaborado a partir de MCTI (2015).

Dessa forma, no ano de 2010 o setor de Ferro-Gusa e Aço atingiu um total de 45.351 GgCO₂ equivalente.

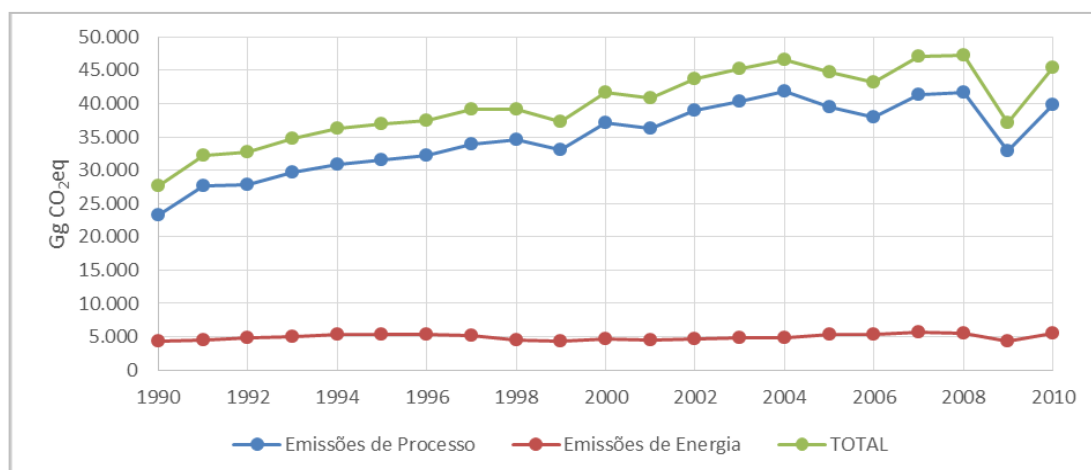


Figura 9: Emissões de GEEs do subsetor de Ferro e Aço

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNI (2010).

2.1.7 ALUMÍNIO

O subsetor de alumínio primário atingiu em 2010 o total de 2.544 Gg CO₂, causados pelo processo industrial. A Tabela 25 exibe o histórico de emissões de processo do setor, no qual destaca-se a prevalência das emissões oriundas do processo *Prebaked Anode*⁷.

No Brasil o tipo de tecnologia utilizado varia de planta para planta. Em 2010, em torno de 56% da produção nacional de alumínio primário utiliza o método Prebake, enquanto os outros 44% utilizam o método Soderberg (Abal, 2011).

Tabela 25: Emissões de CO₂ de Processo do Setor de Alumínio Brasileiro

Ano	Emissões de CO ₂ (Gg CO ₂)		Total
	Processo Soderberg	Processo Prebaked Anode	
1990	672	902	1.574
1991	726	1.175	1.901
1992	756	1.256	2.012
1993	698	1.248	1.946
1994	692	1.264	1.956
1995	707	1.258	1.965
1996	722	1.259	1.981

⁷ As tecnologias usadas no processo Hall - Héroult são duas, e se diferenciam pelo anodo utilizado em cada processo: As cubas com anodo pré-cozido (prebake) e as cubas com anodo Söderberg. Os anodos do tipo prebake são feitos em um processo separado, empregando coque de petróleo e piche como matéria prima, estes anodos são consumidos durante o processo e têm que ser trocados constantemente. Já os anodos Söderberg são cozidos pelo calor da própria cuba eletrolítica, eles não precisam ser trocados, são consumidos continuamente.

Emissões de CO ₂ (Gg CO ₂)			
Ano	Processo Soderberg	Processo Prebaked Anode	Total
1997	720	1.255	1.975
1998	741	1.266	2.007
1999	773	1.306	2.079
2000	791	1.325	2.116
2001	701	1.178	1.879
2002	771	1.405	2.176
2003	818	1.380	2.198
2004	957	1.451	2.408
2005	1.002	1.471	2.473
2006	1.072	1.574	2.646
2007	1.154	1.585	2.739
2008	1.173	1.580	2.753
2009	1.122	1.423	2.545
2010	1.143	1.401	2.544

Fonte: MCTI (2015).

As emissões de processo dos demais gases de efeito estufa na produção de alumínio brasileira são apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26:Emissões de outros GEE de Processo do Setor de Alumínio Brasileiro

Ano	Emissões de CF ₄			Emissões de C ₂ F ₆		
	Soderberg	Prebaked Anode	Total CF ₄	Soderberg	Prebaked Anode	Total C ₂ F ₆
		t CF ₄			t C ₂ F ₆	
1990	140,7	161,5	302,2	9,2	17,1	26,3
1991	153,3	183,3	336,6	10,1	19,0	29,1
1992	150,6	205,9	356,5	9,8	21,3	31,1
1993	138,2	196,7	334,9	8,8	20,2	29,0
1994	131,6	191,6	323,2	8,4	19,5	27,9
1995	125,3	180,7	306,0	8,1	18,2	26,3
1996	114,3	183,3	297,6	7,5	18,6	26,1
1997	89,5	113,3	202,8	5,7	10,0	15,7
1998	93,2	134,5	227,7	5,9	11,3	17,2
1999	102,1	99,2	201,3	6,6	8,7	15,3
2000	74,3	72,2	146,5	5,1	6,6	11,7

Ano	Emissões de CF ₄			Emissões de C ₂ F ₆		
	Soderberg	Prebaked Anode	Total CF ₄	Soderberg	Prebaked Anode	Total C ₂ F ₆
2001	52,1	62,6	114,7	3,4	5,8	9,2
2002	52,4	82,7	135,1	3,3	8,4	11,7
2003	61,1	75,1	136,2	4,0	7,5	11,5
2004	58,3	65,8	124,1	3,9	6,1	10,0
2005	63,6	60,3	123,9	4,2	6,1	10,3
2006	61,3	60,5	121,8	4,2	6,2	10,4
2007	62,5	54,9	117,4	4,3	5,6	9,9
2008	62,7	51,8	114,5	4,3	5,3	9,6
2009	61,1	21,2	82,3	4,2	2,2	6,4
2010	59,7	17,0	76,7	4,1	1,8	5,9

Fonte: MCTI (2015).

Fazendo uso dos valores de GWP (*Global Warming Potential*) dos GEEs emitidos na produção de alumínio é possível calcular as emissões em CO₂ equivalente, conforme mostrado na Tabela 27.

Tabela 27:Emissões de CO₂equivalente de Processo do Setor de Alumínio Brasileiro

	Total CO ₂	Total CO ₂ CF ₄	Total CO ₂ C ₂ F ₆	Total
1990	1.574	2004	2922	6500
1991	1.901	2232	3233	7366
1992	2.012	2364	3455	7831
1993	1.946	2220	3222	7388
1994	1.956	2143	3100	7199
1995	1.965	2029	2922	6916
1996	1.981	1973	2900	6854
1997	1.975	1345	1744	5064
1998	2.007	1510	1911	5428
1999	2.079	1335	1700	5113
2000	2.116	971	1300	4387
2001	1.879	760	1022	3662
2002	2.176	896	1300	4372
2003	2.198	903	1278	4379
2004	2.408	823	1111	4342
2005	2.473	821	1144	4439

	Total CO ₂	Total CO ₂ CF ₄	Total CO ₂ C ₂ F ₆	Total
2006	2.646	808	1155	4609
2007	2.739	778	1100	4617
2008	2.753	759	1067	4579
2009	2.545	546	711	3802
2010	2.544	509	655	3708

Fonte: Elaborado a partir de MCTI (2015) e IPCC (2006).

As emissões de energia foram calculadas a partir do consumo de energéticos do setor, mostrado na Tabela 28. Fazendo-se uso dos fatores de emissão de Eletricidade (14,2 GJ/t CO₂) e de óleo combustível (77,1 GJ/t CO₂) e convertendo os resultados para Gg de CO₂, são obtidos os resultados apresentados na Tabela 29.

Tabela 28: Consumo de Energéticos no Setor de Alumínio

Ano	Eletricidade		Óleo		TOTAL
	GJ	%	GJ	%	GJ
2005	87.300	73,0	32.248	27,0	119.548
2006	92.394	75,1	30.674	24,9	123.068
2007	95.276	75,1	31.601	24,9	126.878
2008	97.983	76,6	29.858	23,4	127.842
2009	90.648	76,6	27.750	23,4	118.397
2010	93.093	75,1	30.870	24,9	123.963

Fonte: MCTI (2015).

Tabela 29: Emissões de Energia Calculadas para o setor de Alumínio

Ano	Eletricidade		Óleo		TOTAL
	Gg CO ₂	%	Gg CO ₂	%	Gg CO ₂
2005	1.240	33,3	2.486	66,7	3.726
2006	1.312	35,7	2.365	64,3	3.677
2007	1.353	35,7	2.436	64,3	3.789
2008	1391	37,7	2.302	62,3	3.693
2009	1.287	37,6	2.139	62,4	3.427
2010	1.322	35,7	2.380	64,3	3.702

Fonte: MCTI (2015).

Dessa forma, obtém-se, para 2010, um total de 7.410 Gg CO₂, em que 3.702 são provenientes da emissão de energéticos e 3.708 dos processos industriais, conforme observado na Figura 10.

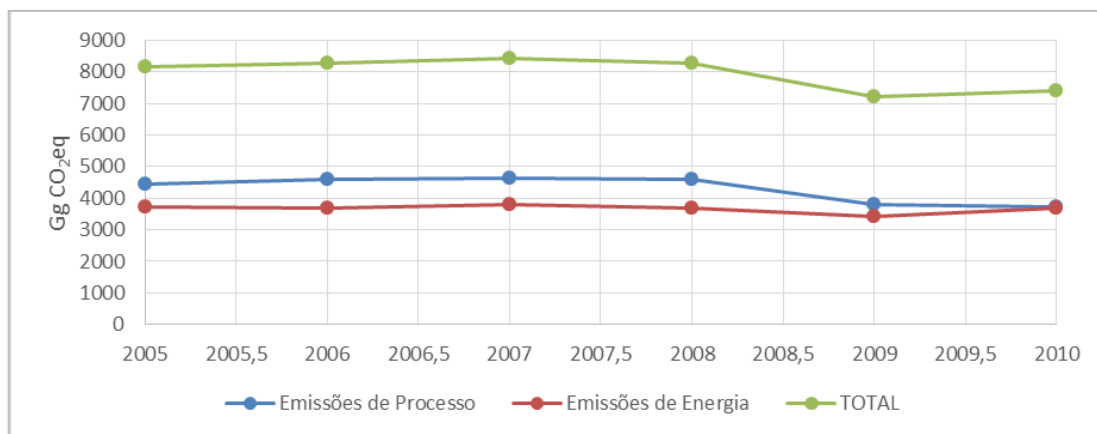


Figura 10: Emissões de GEE do setor de alumínio (GgCO₂)

Fonte: MCTI (2015).

2.2 ANÁLISE DAS MELHORES TECNOLOGIAS DE CONTROLE DISPONÍVEIS

2.2.1 PAPEL E CELULOSE⁸

Existem muitas possibilidades, na indústria de papel e celulose para reduzir o consumo de energia, mantendo ou melhorando a produtividade dos processos (Kramer et al., 2009). Sendo assim, este capítulo discute uma série de medidas de eficiência energética aplicáveis à fabricação de papel e celulose, seja em nível de instalações ou em nível de processos, que sejam comprovadas e já estejam disponíveis comercialmente⁹. Sempre que possível, as descrições das medidas incluem estudos de casos de implementações bem-sucedidas, potencial de economia de energia, dados de custos de investimentos e/ou operação de manutenção e tempo de retorno dos investimentos.

Os subitens a seguir estão separados em sistemas de cogeração, sistema de vapor, sistema de bombas, sistema de ventilação, sistema de compressão de ar, integração de processos e medidas de eficiência nos processos produtivos, sendo eles a polpação mecânica, a polpação química e a produção de papel.

2.2.1.1 SISTEMAS DE COGERAÇÃO (CHP)

As perdas energéticas provenientes da geração de energia e da produção de calor podem ser reduzidas através da combinação de ambos os processos. A cogeração, a qual aumenta significativamente a eficiência global de recuperação de energia e ajuda a reduzir o consumo de combustível e emissões atmosféricas, pode ser definida como a produção simultânea e sequenciada de energia térmica e elétrica, a partir de um mesmo combustível (MDIC, 2010).

Segundo MDIC (2010), além do ganho em eficiência energética, dependendo da escala do empreendimento e de outras variáveis (tais como preço do combustível, tarifa da energia elétrica, possibilidade de venda de excedente de energia, fator de carga, entre outras), a cogeração de energia pode se tornar mais econômica e segura do que a energia elétrica adquirida das empresas distribuidoras, o que pode ser fundamental na escolha dessa tecnologia.

⁸ Texto utilizou o estudo desenvolvido no projeto “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave no Brasil” – BRASIL (2017b).

⁹ Nesse contexto, ressalta-se a necessidade de se estimular a demanda pela madeira como produto e insumo renovável, o que tem relação direta com a precificação de carbono. Destaca-se ainda a necessidade de: (i) lembrar que o setor tem uma tecnologia de captura de carbono natural, por meio da fotossíntese, diferentemente de outras tecnologias de captura de carbono que ainda têm substantivo nível de incerteza (pag 138) e (ii) as atividades do setor de celulose e papel são ricas em diversos co-benefícios, por exemplo, ganhos em biodiversidade, recuperação de áreas de recarga hídrica, empregos no meio rural, etc.

Enquanto em centrais convencionais menos de 40 % da energia de entrada é convertida em energia elétrica e o resto da energia é desperdiçada, em instalações de cogeração 80-93 % da energia de entrada é convertida em 40-70 % de calor e em 20-45% de energia elétrica. Além disso, a CHP pode reduzir a taxa de emissão de CO₂ em 50% em comparação com os sistemas convencionais de geração de energia (IPPC, 2010).

O custo de investimento específico é estimado em 1,000 US\$/kW, e as economias realizáveis e o tempo de retorno dependerão, principalmente, do preço da eletricidade e dos combustíveis no interior do país (IIP, 2015).

2.2.1.2 MELHORIA DO ISOLAMENTO DE CALDEIRAS E LINHAS DE VAPOR

Esta medida pode ser realizada com a utilização de materiais mais isolantes. Fatores decisivos na escolha do material incluem: baixa condutividade térmica, estabilidade dimensional sob mudança de temperatura, resistência à absorção de água e resistência à combustão (Worrell, Price, Neelis, Galitsky, & Nan, 2008). Outras características que podem também ser importantes, dependendo da aplicação são, por exemplo, tolerância a grandes variações de temperatura e vibrações do sistema, e resistência à compressão (Baen e Barth, 1994).

Segundo Kramer et al. (2009), poupanças entre 6-26 % podem ser conseguidas com a melhoria do isolamento de caldeiras caso a mesma seja combinada com melhorias no controle do sistema de vapor.

No que diz respeito às linhas de vapor, o US DOE (2006) estima que a instalação de isolamento removível em válvulas, tubos e conexões pode reduzir o consumo de energia do sistema de vapor por 1-3 %.

Como parte de um estudo de caso sobre o uso da energia e oportunidades de eficiência energética em dez fábricas diferentes de papel e celulose em Illinois, foi mostrado que a instalação ou a melhoria do isolamento de tubos e válvulas poderia economizar, em média, mais de 3.600 MMBtu e mais de US\$ 12.000 por ano (Chimack et al., 2003).

Estudos de caso da indústria de celulose e papel dos EUA indicam que o período de retorno para um melhor isolamento é normalmente inferior a um ano (IAC, 2008).

2.2.1.3 REDUÇÃO DO EXCESSO DE AR DE COMBUSTÃO EM CALDEIRAS

Caldeiras devem ser alimentadas com excesso de ar para garantir a combustão completa e para reduzir a presença de monóxido de carbono nos gases de escape, porém quando o excesso é acima do adequado, energia é desperdiçada e o calor acaba sendo transferido para a atmosfera ao invés de ser transferido para o vapor. Sendo assim, o ideal é que as caldeiras trabalhem com cerca de apenas 15% de excesso de ar (em torno de 3% de excesso de oxigênio) (US DOE, 2004; Ganapathy, 1994).

Segundo Zeitz (1997), a maioria das caldeiras industriais já operam com 15% de excesso de ar ou menos, no entanto, se a caldeira estiver usando um percentual de excesso de ar acima desse valor,

numerosos estudos de casos industriais indicam que o período de retorno para esta medida é inferior a um ano (IAC, 2008).

US DOE (2002) estima que muitas fábricas de papel e celulose nos EUA poderiam reduzir o consumo de combustível na caldeira em cerca de 2,3% através da aplicação desta medida.

2.2.1.4 SUBSTITUIÇÃO DE QUEIMADORES

A substituição de queimadores antigos por queimadores modernos e mais eficientes pode levar a economias significativas de energia (Kramer et al., 2009).

Um estudo de caso em dez fábricas de papel e celulose em Illinois, nos EUA, mostrou que a melhoria da eficiência de combustão da caldeira poderia economizar em média mais de 9.500 GJ por ano (Chimack et al., 2003).

O US DOE (2002) estima que a atualização de queimadores para modelos mais eficientes ou a substituição de queimadores desgastados pode reduzir o uso de combustível em caldeiras de fábricas de celulose e papel em cerca de 2,4 %, com um período de retorno de cerca de 19 meses.

2.2.1.5 RECUPERAÇÃO DE CALOR

Em fábricas de papel e celulose a recuperação de calor pode ocorrer em diversas etapas e unidades do processo produtivo. Alguns exemplos são: recuperação de calor em unidades digestoras do processo químico de produção de celulose; recuperação de calor na polpação termo-mecânica; recuperação de calor nas secadoras de papel; recuperação de calor do efluente da etapa de branqueamento e recuperação de calor do gás combustível.

A recuperação de calor em unidades digestoras no processo químico de produção de celulose pode ocorrer tanto em digestores contínuos como em descontínuos. No primeiro caso o licor negro extraído segue para um tanque de *flash*, onde é produzido vapor de flash, e no segundo caso o vapor produzido no digestor é tipicamente armazenado como água quente em um tanque acumulador (Kramet et al., 2009).

Segundo US DOE (2003), um estudo de uma planta produtora de mais de 650.000 toneladas de papel, a recuperação de calor em unidades digestoras demonstrou um potencial de recuperação de aproximadamente 990.000 GJ de combustível e 750.000 GJ de vapor por ano. Ainda de acordo com o Departamento Americano, o investimento e o custo anual para um sistema de recuperação de calor deste tipo são estimados em US\$2.250.000 e US\$ 2.235.000, respectivamente, com um tempo de retorno inferior a um ano.

No caso da polpação termo-mecânica, a recuperação de calor se dá através do vapor produzido como subproduto do processo. Este vapor é normalmente contaminado, mas seu calor pode ser recuperado para utilização em outros processos, como, por exemplo: (1) na etapa de secagem do papel em fábricas

integradas (Martin et al., 2000); (2) para aquecer água através de trocadores de calor de contato direto (Focus on Energy, 2006), e em sistemas térmicos (Martin et al., 2000).

Segundo Kramer et al., (2009), estima-se que a recuperação de calor na polpação termo-mecânica pode gerar 1,1 a 1,9 toneladas de vapor limpo por tonelada de celulose. O autor também afirma que o custo médio de instalação está estimado em US\$ 2.000 dólares com aumentos significativos nos custos de operação e manutenção e que o período de retorno do investimento varia muito, dependendo dos custos de capital, mas o mesmo pode ser de apenas alguns meses. Já IPPC (2010) afirma que o período de retorno do investimento é usualmente de aproximadamente um ano.

Nedo (2008) relata que uma planta japonesa com capacidade de 150 toneladas/dia possui capacidade de recuperar 695 GJ de energia na forma de vapor e 1,175 GJ de energia na forma de água quente.

Em relação ao processo de secagem do papel, existem várias possibilidades para recuperar a energia térmica a partir de vapor e resíduos de calor, as quais incluem: (1) substituir os secadores por sifões estacionários na máquina de papel, alcançando uma redução no consumo de energia de 0,89 GJ/ tonelada de papel, e uma redução nos custos de operação de US\$ 0,045/ tonelada de papel (Morris, 1998); (2) Recompressão mecânica do vapor e reuso de vapor superaquecido no processo de secagem, com uma redução no consumo de energia da ordem de 5 GJ/ tonelada de papel, mas com um aumento no consumo de eletricidade de aproximadamente 160 kWh/ tonelada de papel (Van Deventer, 1997); (3) Uso de bombas de calor para recuperação de calor residual (Abrahamsson et al., 1997).

Martin et al. (2000) estima uma economia de energia de vapor de cerca de 0,4 MMBtu / tonelada de papel, alcançável através de recuperação de calor em máquinas de papel, com os custos de instalação de cerca de US\$ 18 por tonelada de papel, no entanto, o autor afirma que a instalação de sistemas de recuperação de calor pode levar a uma maior manutenção, dado que trocadores de calor necessitam de limpeza periódica.

No caso do efluente da unidade de branqueamento, através da instalação de trocadores de calor é possível recuperar-se uma grande quantidade de calor, o qual pode ser utilizado, por exemplo, para o aquecimento de água (Kramer et al., 2009).

Em uma fábrica da Georgia-Pacific, em Crossett, Arkansas, uma auditoria revelou uma oportunidade de instalação de trocadores de calor para recuperar calor a partir dos efluentes da unidade de branqueamento, para a geração de água quente utilizada na máquina de papel da fábrica. Com a instalação, a economia de energia estimada seria de 939.000 GJ/ por ano, com uma economia anual de cerca de US\$ 2,4 milhões (US DOE, 2003). A estimativa de investimento foi de US\$ 1,6 milhões, com um período de retorno esperado de apenas 8 meses (US DOE, 2003).

Por fim, a recuperação de calor a partir do gás combustível é uma das melhores oportunidades de recuperar calor em sistemas de vapor (CIPEC, 2001). Segundo Kramet et al. (2009), o calor recuperado do gás combustível pode ser utilizado para, por exemplo, pré-aquecer a água de alimentação de caldeiras. O US DOE (2002c) estima que a instalação de pré-aquecedores de água de alimentação da

caldeira reduziria o consumo de combustível da caldeira em cerca de 3,5%. Segundo IEA (2009), é possível uma economia no consumo de combustíveis de aproximadamente 0,25 GJ/ tonelada de produto, com um custo de US\$ 0,7/ tonelada de produto.

2.2.1.6 MANUTENÇÃO DA CALDEIRA

Um programa de manutenção que assegure que todos os componentes de uma caldeira estejam operando com desempenho máximo pode resultar em economias substanciais. Em média, a economia de energia associada com uma melhor manutenção da caldeira é estimada em 10%. Melhorias na manutenção também podem reduzir a emissão de poluentes (Kramer et al., 2009). Segundo Martin et al. (2001), a redução no consumo de combustíveis com a implementação desta medida é de 1,26 GJ/ tonelada de produto, e as reduções de emissões são de 2,26 kgCO₂/tonelada de produto.

2.2.1.7 INSTALAÇÃO DE BOMBAS DE VÁCUO MAIS EFICIENTES

As bombas de vácuo são um dos principais equipamentos que consomem energia elétrica em máquinas de papel, sendo assim, bombas de vácuo com menores consumos energéticos possibilitam a produção de papel com menores custos. Os ganhos energéticos pela substituição de uma bomba estão na ordem de 2 a 10% (Worrell e Galitsky, 2005; Xenergetics, 1998). Benefícios gerados pela troca de bombas ineficientes por bombas eficientes são: redução do consumo de energia, menor necessidade de manutenção e capacidade de vácuo consistente (CII, 2008).

Segundo CII (2008), em 1999, a fábrica de papel Indiana, Andhra Pradesh, fez a troca de cinco bombas de vácuo ineficientes por bombas eficientes, alcançando uma redução no consumo de eletricidade da ordem de 5.000 kWh/ dia e uma melhor performance da máquina de papel devido à maior capacidade de vácuo.

De acordo com UNIDO (2010), a instalação de bombas mais eficientes pode ter um custo de capital que varia de US\$ 15.000 a US\$ 115.500, para bombas com potência menores que 50HP e entre 500 e 1.000HP, respectivamente.

2.2.1.8 CORREÇÃO DO SUPERDIMENSIONAMENTO DE BOMBAS

Bombas superdimensionadas, normalmente, consomem mais energia do que o necessário. Sendo assim, a substituição de bombas superdimensionadas por bombas dimensionadas corretamente muitas vezes pode reduzir o uso de eletricidade de um sistema de bombeamento de 15% a 25% (US DOE, 2002). Embora não seja uma prática usual, equipamentos com superdimensionamento podem ser ajustados pelo uso de engrenagens e correias ou de motores com velocidades reduzidas. O retorno de investimento é de cerca de um ano, dependendo do tamanho da bomba (Galitsky et al., 2005).

Em uma fábrica de papel de jornal em Augusta, Geórgia, um novo sistema de limpador de máquina de papel foi instalado, necessitando de uma pressão de alimentação significativamente mais baixa do que a utilizada anteriormente. O sistema anterior era alimentado por uma bomba com motor de 1.250

cavalos de potência e foi substituído por uma com motor de 800 cavalos, o que reduziu o consumo de energia elétrica em 2.450 MWh/ ano, com um custo de investimento de US\$ 123.500 e um tempo de retorno de 17 meses (US DOE, 2002).

2.2.1.9 MANUTENÇÃO E MONITORAMENTO DE BOMBAS

A manutenção inadequada de bombas pode diminuir a sua eficiência, assim como causar maiores desgastes e aumentar os custos energéticos. A implementação de um programa de manutenção do sistema de bombas pode ajudar a evitar esses problemas. Além disso, a melhoria na manutenção do sistema de bombas pode levar a uma poupança de energia da ordem de 2% a 7% (US DOE, 2002). O monitoramento em conjunto com operações de manutenção pode ser utilizado para detectar problemas e determinar soluções para criar um sistema de bombas mais eficiente (Kramer et al., 2009). Medidas de monitoramento podem ser utilizadas consistem em análise de vibrações, controle de pressão e vazão, controle de corrente ou potência, inspeção do sistema, entre outras.

De acordo com UNIDO (2010), os custos com a manutenção do sistema de bombas podem variar de acordo com a prática utilizada. Por exemplo, para o conserto de vazamentos, os custos típicos variam de US\$ 1.000 a US\$ 3.000, dependendo da potência da bomba. Já a remoção de sedimentos está na faixa de US\$ 3.500 a US\$ 14.000 para bombas menores que 50HP e entre 500 e 1000HP, respectivamente.

2.2.1.10 BOMBAS COM VELOCIDADE VARIÁVEL (ASD)

Segundo Kramer et al. (2009), os ASD são recomendados para ajustar a velocidade conforme a carga requerida na operação, quando o consumo energético em sistemas centrífugos é aproximadamente proporcional ao cubo da vazão. Sendo assim, uma pequena modificação na vazão que seja proporcionável à velocidade do motor pode promover uma quantidade razoável de conservação energética. De acordo com Xenergy (1998) e Best Practice Programme (1996), a inclusão de ASD em bombas é capaz de economizar entre 20 % e 50 % do consumo de energia das mesmas, e ainda com *paybacks* relativamente curtos, dependendo da aplicação, do tamanho da bomba, da carga e da variação da carga. Os motores ASD aumentam a produtividade, reduzem o desgaste do equipamento e a necessidade de manutenção.

Como exemplo de aplicação, cabe citar a instalação de dois ASDs no sistema de bombeamento de efluentes, realizada pela fábrica de papel Daishowa América, em Port Angeles, Washington. O projeto resultou em uma economia anual nos custos de energia de US\$ 32 mil e 700.000 kWh de eletricidade. O projeto também eliminou os problemas que levaram aos excessivos custos de manutenção e resultou em uma economia anual de manutenção de US\$ 10.000 (US DOE, 2002b).

Segundo dados obtidos em UNIDO (2010), o custo de instalação de ASDs em bombas varia de acordo com a potência das mesmas. Para bombas com 50HP o custo de capital típico é de US\$ 4.000, já para

bombas de 100 a 200HP este custo é de US\$ 18.000 e para bombas entre 500 e 1000HP o custo é de US\$ 65.000.

2.2.1.11 SISTEMAS DE CONTROLE DE BOMBAS

Os sistemas de controle podem aumentar a eficiência energética de um sistema de bombas, fechando as bombas automaticamente quando a demanda é reduzida, ou colocando as mesmas em *standby* com cargas reduzidas até que a demanda aumente. (Kramer et al, 2009).

Em 2000, a Cisco Systems, atualizou os sistemas controles em suas bombas para que as mesmas fossem desligadas automaticamente durante períodos de menor demanda do sistema. O projeto possibilitou a economia de US\$ 32 mil e 400 mil kWh por ano, o que representou uma economia de 61,5% no total do consumo de energia das bombas (CEC, 2002). Com um custo total de US\$ 29.000, o período de retorno foi de 11 meses. Além da economia de energia, o projeto reduziu os custos de manutenção e aumentou o tempo de vida do sistema de bombas.

2.2.1.12 CORREÇÃO DO SUPERDIMENSIONAMENTO DE VENTILADORES

Segundo US DOE (2003), o superdimensionamento de ventiladores pode levar a custos de capital mais elevados, maiores custos de manutenção e custos energéticos maiores do que os de ventiladores dimensionados corretamente.

Em uma fábrica de papéis cartão em Tomahawk, Wisconsin, EUA, um projeto de otimização do sistema de ventilação foi elaborado para redimensionar e substituir ventiladores para melhor atender o fluxo de ar e requisitos de pressão. O novo sistema de ventilação levou a uma economia de energia de cerca de 2,5 milhões de kWh por ano, com redução anual de custos de cerca de US\$ 85.000, com custos de investimento de US\$ 44.000, e um período de retorno de cerca de 6 meses (US DOE, 1999b).

2.2.1.13 VENTILADORES COM VELOCIDADE VARIÁVEL (ASD)

Economias de energia significativas podem ser alcançadas através da instalação de variadores de velocidade em ventiladores. Segundo US DOE (2002), a redução no consumo de energia pode variar entre 14% e 49% com a instalação de ASDs. Uma avaliação de eficiência energética em uma fábrica nos EUA verificou que os motores dos ventiladores de uma torre de resfriamento operaram de forma contínua ao longo de um ano, apesar da carga de calor variável. Sendo assim, variadores de velocidade foram instalados nos motores dos ventiladores o que resultou em uma economia de 69,7 MWh de eletricidade por ano, com um custo de US\$ 9.000 e um tempo de retorno do investimento de 1,7 anos (US DOE, 2003a).

2.2.1.14 MANUTENÇÃO E MONITORAMENTO DO SISTEMA DE COMPRESSÃO

A manutenção inadequada pode diminuir a eficiência de compressão de ar e aumentar vazamentos ou variabilidade de pressão, bem como levar ao aumento da temperatura de funcionamento (Kramer et al., 2009). Sendo assim, melhorias na manutenção podem reduzir tais problemas e possibilitar uma economia de energia. De acordo com US DOE (2003), CAC (2002) e Scales e McCulloch (2007), a manutenção adequada inclui:

- Inspeção e manutenção de filtro: filtros bloqueados aumentam a queda de pressão ao longo do filtro. Ao inspecionar e limpar periodicamente os filtros, as quedas de pressão do podem ser minimizadas, diminuindo a energia requerida pelo processo;
- Inspeção de ventiladores e bombas de água para o máximo desempenho;
- Inspeção de armadilhas de drenagem;
- Manutenção dos refrigeradores no compressor;
- Inspeção da correia do compressor;
- Minimizar o vazamento de ar comprimido em todo o sistema;

Além da manutenção adequada, um sistema de monitoramento pode reduzir custos de energia e operacionais nos sistemas de ar comprimido. Um acompanhamento eficaz inclui (CADET, 1997):

- Medidores de pressão;
- Medidores de temperatura em todo o compressor e sistema de arrefecimento para detectar incrustações e bloqueios;
- Medidores de fluxo para medir a quantidade de ar utilizado;
- Medidores de temperatura do ponto de orvalho para monitorar a eficácia dos secadores de ar;
- Verificação de sistemas de distribuição de ar comprimido depois que o equipamento foi reconfigurado para ter certeza de que o ar não está fluindo para equipamentos não utilizados ou para peças obsoletas do sistema de distribuição de ar comprimido;

De acordo com UNIDO (2010), os custos típicos de capital para o monitoramento de sistemas de compressão variam de US\$ 500 a US\$ 10.000 a depender do tamanho do sistema.

2.2.1.15 REDUÇÃO DE VAZAMENTOS DE AR

Os vazamentos de ar podem ser uma fonte importante de desperdício de energia. Segundo US DOE (2003), instalações industriais mal conservadas podem ter taxas de fuga variando entre 20% e 30% da capacidade total de produção de ar comprimido.

A magnitude da perda de energia associado com um vazamento varia com o tamanho do furo nos tubos ou equipamentos. Um compressor que opera 2.500 horas por ano com pressão de 87 psi e com vazamentos de diâmetros de 0,5 mm, 1mm, 2 mm e 4 mm, possuem uma perda estimada, respectivamente, em 250 kWh por ano, 1.100 kWh por ano, 4.500 kWh por ano e 11.250 kWh por ano (CADDET, 1997).

No início de 2001, uma fábrica de jornal em Augusta, Geórgia, consolidou dois sistemas de ar comprimido em suas instalações. O projeto resultou em um sistema mais simplificado, acrescentou capacidade de armazenamento e, além disso, foram descobertos e corrigidos uma série de vazamentos. O projeto resultou em uma economia de energia de mais de 1,8 milhões de kWh por ano (US DOE, 2002a). Vários estudos em fábricas de celulose e papel sugerem que o período de retorno para os esforços de redução de vazamentos é geralmente mais curto do que sete meses (IAC, 2008). Segundo UNIDO (2010), os custos com reparo de vazamentos de sistemas de compressores de ar variam de US\$ 1.250 a US\$ 5.000, dependendo da magnitude do sistema.

2.2.1.16 MINIMIZAÇÃO DA QUEDA DE PRESSÃO

Uma queda de pressão excessiva pode resultar em um fraco desempenho do sistema e em um consumo excessivo de energia. A minimização da queda de pressão requer modificações tanto no projeto do sistema de compressão como em sua manutenção, através da seleção de componentes do sistema com a menor queda de pressão possível e condições especificadas de máximo funcionamento e melhor desempenho, bem como as recomendações dos fabricantes para a manutenção devem ser seguidas (Kramer et al., 2009).

Segundo UNIDO (2010) os custos com a minimização das quedas de pressão variam de US\$ 2.000 a US\$ 12.000, de acordo com o tamanho do sistema. Auditorias em fábricas de celulose e papel dos EUA descobriu que o período de retorno do investimento é normalmente inferior a um ano (IAC, 2008).

2.2.1.17 CORREÇÃO DOS DIÂMETROS DE TUBULAÇÕES

Aumentar o diâmetro do tubo para o maior tamanho que é viável para um sistema de ar comprimido pode ajudar a minimizar as perdas de pressão e vazamentos, o que reduz a pressão de operação do sistema e leva a economias de energia (Kramer et al., 2009). O aumento dos diâmetros da tubulação tipicamente reduz o consumo de energia do sistema de ar comprimido em 3% (Radgen e Blaustein, 2001). De acordo com UNIDO (2010), os custos de capital com o redimensionamento do sistema de ar comprimido, para atender a demanda, variam de US\$ 12.000 a US\$ 120.000, dependendo do tamanho do sistema.

2.2.1.18 COMPRESSORES COM VELOCIDADE VARIÁVEL (ASDs)

A implementação de reguladores de velocidade em compressores rotativos de ar pode reduzir em até 15% o consumo de energia (Worrell e Galitsky, 2005). A instalação de ASD é recomendável para

sistemas com grandes variações de carga, locais com frequentes alterações da temperatura ambiente e locais com energia elétrica relativamente cara (maior que 0,04 US\$/kWh).

A instalação de motores mais eficientes em sistemas de compressores pode reduzir o consumo energético anual em até 2% e o retorno do investimento ocorre em menos de três anos. No entanto, os maiores ganhos ocorrem em sistemas com motores pequenos, usualmente menores que 10 kW (Worrell e Galitsky, 2005).

Segundo UNIDO (2010), a instalação de ASDs em compressores de ar pode ter um custo de capital que varia de US\$ 12.000 a US\$ 100.000 dependendo da potência do mesmo.

2.2.1.19 *POLPAÇÃO MECÂNICA*

Embora menos comum do que a polpação química, as operações de produção de pasta mecânica ainda existem na produção de celulose brasileira. Sendo assim, este capítulo discute algumas medidas de efficientização energética para as operações mecânicas de produção de celulose.

2.2.1.19.1 OTIMIZAÇÃO DE REFINADORES

Muitas melhorias em refinadores são possíveis para que se reduza o consumo de eletricidade na polpação mecânica. Como exemplo, Kramer et al. (2009) citam, respectivamente, a implementação de estratégias de controle do refinador em uma fábrica de papel no Canadá, a qual possibilitou a economia de 51,3 kWh/ tonelada de celulose; e a troca de refinadores de disco por refinadores cônicos. Adicionalmente, IPPC (2010) aponta que o uso de refinadores de disco duplo em fábricas Suecas e Norueguesas consumiram menos energia do que refinadores de disco único. Martin et al. (2000) estima que o potencial de redução no consumo de eletricidade alcançado a partir de melhorias em refinadores é de 11%, com um custo de capital de aproximadamente US\$ 7,7/ tonelada de celulose produzida.

2.2.1.19.2 *POLPAÇÃO MECÂNICA RTS*

A polpação Mecânica RTS possui um tempo de residência curto, uma temperatura elevada e alta velocidade de polpação. No processo RTS o consumo de energia é reduzido devido ao aumento da velocidade rotacional do refinador primário, o qual leva a um menor tempo de residência e maior intensidade de refino (Kramer et al., 2009). Temperaturas de cerca de 165°C são praticadas, o que resulta em uma redução do consumo específico de energia sem perda de qualidade da celulose produzida. As estimativas publicadas para as economias de energia obtidas com a polpação RTS variam muito. Martin et al. (2000) estimam que a celulose de RTS pode ser produzida com cerca de 15 % menos de energia específica do que a celulose produzida com um sistema tradicional de refino. Os dados de Miotti (2001) sugerem que a energia específica de polpação RTS é cerca de 20 % menor do que os processos convencionais. Focus on Energy (2006a) estima que o efeito de aumento da velocidade de rotação em refinadores convencionais pode reduzir uso de energia a partir de 15% até 30%, dependendo do tipo de placa e tipo de refinador.

De acordo com Martin et al. (2000), o potencial de redução de emissões com a polpação RTS é estimado em 128 Kg CO₂/ tonelada de celulose e os custos de implementação são estimados em US\$ 50/ tonelada de celulose.

Segundo Sabourin (2006), para uma fábrica de papel e celulose com capacidade de 1.000 toneladas por dia, uma redução de 20% no consumo energético resulta em economias de US\$ 5 milhões por ano.

2.2.1.19.3 TERMOPOLPAÇÃO

Termopolpação é uma variação do processo TMP, em que a celulose do refinador primário é submetida a um tratamento de alta temperatura durante um curto período de tempo numa *termo-mixer* e no refinador secundário subsequente. As temperaturas na fase primária são abaixo da temperatura de amolecimento de lignina. As pressões de operação mais elevadas no refinador secundário reduzem o fluxo volumétrico de vapor gerado (Kramer et al, 2009). Estimativas publicadas sugerem que a termopolpação pode reduzir o consumo específico de energia em comparação com o processo TMP em até 20% (Miotti, 2001; Ola et al., 1998). Não foram encontrados dados de custos para esta tecnologia.

2.2.1.19.4 REPOLPAÇÃO CONTÍNUA

O processo de repolpação de pasta de celulose adquirida do mercado envolve a mistura da carga de alimentação da polpa seca com água, em um tanque, para produzir uma pasta fibrosa. Este processo normalmente é realizado de forma descontínua, porém, a conversão do mesmo para uma repolpação contínua pode conduzir a reduções no consumo de energia, devido a uma melhor eficiência do processo (Kramer et al., 2009). Estima-se que a economia de energia pode alcançar até 40% devido a menores exigências de potência dos motores e que os custos de capital são estimados em US\$ 100.000.

2.2.1.20 POLPAÇÃO QUÍMICA

Como discutido anteriormente, a maioria das pastas de celulose no Brasil são produzidas por processos de polpação química, mais especificamente o processo Kraft de polpação. Da mesma forma, a polpação química (ou seja, a Kraft) está associada a um grande consumo de vapor, eletricidade e combustíveis. Sendo assim, melhorias de eficiência no processo químico de polpação pode levar a economias significativas de energia na produção de celulose.

2.2.1.20.1 UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS NA POLPAÇÃO QUÍMICA

A utilização de aditivos na polpação química pode aumentar a penetração do licor e promover um maior cozimento. Sendo assim, pode-se alcançar um maior rendimento de polpa, um menor consumo energético por tonelada de polpa, menores demandas por matérias-primas e melhores taxas de produtividade (Kramer et al., 2009).

A viabilidade financeira desta medida é normalmente determinada comparando-se os custos com os aditivos com as economias em fibra projetadas. Alguns estudos estimam que a economia é de aproximadamente US\$ 20/ tonelada de polpa branqueada (Focus on Energy, 2006a).

Normalmente, compostos de antraquinona são utilizados como aditivos de polpação química, mas novas alternativas estão surgindo. Por exemplo, US DOE (2008) investigou a aplicação do produto químico *ChemStone* EOA-11. Foi estimado que a redução do tempo de cozimento pode levar a poupanças de energia de 125.000 Btu por tonelada de lascas de madeira processadas. Outros benefícios relatados incluíram um aumento no rendimento de 2-5% por tonelada de madeira, reduções na polpa residual, menor uso de produtos químicos branqueadores, e reduções de emissões à base de enxofre (US DOE, 2008; Ronneberg e Jennings, 2007).

Outro aditivo emergente na polpação química é o fosfanato. Resultados preliminares de um projeto do US DOE sugeriu que a adição de fosfonato aumenta a remoção de lignina, melhora o rendimento e o brilho da polpa branqueada, e conserva a viscosidade da polpa (US DOE, 2006b). Poupanças de energia foram estimadas em 8-10%, e aumentos de rendimento foram estimados em 4-6% (US DOE, 2006a).

2.2.1.20.2 OTIMIZAÇÃO DO CONTROLE DO FATOR DE DILUIÇÃO

De acordo com NCASI (2001), a otimização do controle do fator de diluição pode reduzir a quantidade média de água a ser evaporada do licor negro, reduzindo assim o consumo de vapor dos evaporadores. Em uma avaliação de uma fábrica de celulose e papel em Longview, Washington, um projeto foi identificado para melhorar a lavagem do digestor e para reduzir o fator de diluição. Estimou-se que tais melhorias poupariam 200 litros de água por minuto e 310.000 MMBtu de gás natural por ano. As economias de custo anuais projetadas associadas a estas medidas foram de US\$ 580.000 (US DOE, 2004a).

2.2.1.20.3 MODIFICAÇÕES NA DIGESTÃO DESCONTÍNUA

Várias abordagens podem ser consideradas para reduzir o consumo de energia em digestores descontínuos, tal como o aquecimento indireto e o “cold blow” (Kramer et al., 2009). Reduções no consumo energético com o aquecimento indireto podem chegar a 3,17 GJ/ tonelada de celulose (Kramer et al., 2009). Já a economia de energia com o “cold blow” é estimada em 2,3 GJ/ tonelada de celulose (NCASI, 2001). Segundo Martin et al. (2000) com a aplicação de tais modificações, alcança-se uma redução de emissões de GEE de até 105 kg/ tonelada de celulose.

De acordo com Kramer et al. (2009), para uma planta com capacidade de 1.000 toneladas por dia, a redução no consumo de energia através da aplicação do “cold blow” pode resultar em uma redução de custos da ordem de US\$ 2 milhões por ano. Porém, custos de capital adicionais com equipamentos são considerados altos para a aplicação desta medida.

2.2.1.20.4 CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS DO LICOR NEGRO

Concentradores de licor negro são projetados para aumentar o teor de sólidos do licor negro antes da combustão na caldeira de recuperação. Um aumento dos sólidos significa que menores conteúdos de água devem ser evaporados na caldeira de recuperação, o que pode aumentar a eficiência de geração de vapor substancialmente. Uma análise realizada por NCASI (2001) sugeriu que para uma planta de celulose com capacidade de 1.000 toneladas por dia, aumentando o teor de sólido de 66% para 80%, gerou uma economia na quantidade de combustível consumido referente a 30 MMBtu/ hora, o que equivaleu a cerca de US\$ 550 mil.

Em uma fábrica de celulose e papel nos Estados Unidos, com uma capacidade de produção de papel de 900 toneladas por dia, a instalação de um concentrador de sólidos de licor negro para aumentar o teor de sólidos de 73% para 80% resultou em uma economia de energia de cerca de 110.000 MMBtu/ ano e uma economia de custos de cerca de US\$ 900.000/ ano, com um tempo de retorno do investimento de quatro anos (Kramer et al., 2009).

2.2.1.20.5 AUMENTO DO USO DE POLPA DE CELULOSE RECICLADA

Segundo Kramer et al. (2009), a produção de polpas recicladas consome, em média, significativamente menos energia do que a necessária para a produção de polpas mecânicas ou químicas. No entanto, em comparação com a produção de pastas químicas, pode haver um aumento das emissões de CO₂, quando combustíveis fósseis são utilizados para a recuperação da celulose (IEA, 2009). De acordo com IEA (2012), considerando que o limite teórico para a recuperação de resíduos de papel é estimado em 80 %, acredita-se que, na prática, o limite pode estar perto de 60%.

Segundo IEA (2012), o uso de celulose reciclada pode reduzir o consumo de energia de 10 a 13 GJ/ tonelada de celulose. Já de acordo com Kramer et al. (2009), em comparação à produção de celulose química, a produção com celulose reciclada pode ter um consumo de 6,3 a 11,6 GJ/ tonelada de celulose menor e, em relação à produção de celulose mecânica, este consumo pode ser de 6,3 a 10,6 GJ/ tonelada de celulose menor.

Estudos estimam que os custos de investimento em capacidade de produção de celulose reciclada são, em média, US\$ 485/ tonelada de celulose (Martin et al., 2000) e, dependendo do preço dos resíduos de papel necessários para a produção de celulose reciclada, a redução de custos de operação e manutenção em relação à produção de celulose de polpa virgem, pode ser de até US\$ 73,9 (O'Brien, 1996).

Apesar dos ganhos em energia e custos de operação e manutenção, a polpa reciclada produz uma lama, a qual pode apresentar dificuldade de eliminação (Kramer et al., 2009).

2.2.1.21 CONTROLE AVANÇADO DE SECADORES

Os sistemas de controle são uma forma bem conhecida de otimização de variáveis de um processo, com consequentes reduções no consumo de energia, aumentos na produtividade e melhorias na

qualidade dos mesmos. Um exemplo de um sistema de controle de secadores é o *Software System™*, o qual, supostamente oferece controle avançado do secador através de ajuste de pontos do sistema e de parâmetros do processo, o que reduz o uso do vapor e aumenta. Vários estudos de caso desta tecnologia estão disponíveis na literatura. Focus on Energy (2006b) descreve um piloto do software *Dryer Management System* em uma fábrica de papel em Wiscosin. Através da utilização do software alcançou-se uma economia de 4.500 kg vapor/ h e uma redução de custos de US\$ 360.000 por ano. O período de recuperação do investimento foi estimado em menos de 3 anos (Focus on Energy, 2006b).

2.2.1.22 REDUÇÃO DA DEMANDA DE AR EM SECADORES

Máquinas de papel com cobertura fechada requerem aproximadamente metade da quantidade de ar por tonelada de água evaporada, em comparação com máquinas de papel de cobertura aberta. Ao fechar a cobertura da máquina de papel há uma redução da energia térmica demandada, dado que um menor volume de ar é aquecido. Demandas de eletricidade na ventilação do exaustor também são reduzidas (Elaahi e Lowirr, 1988).

Publicações estimam que, com o fechamento da máquina de vapor e com um sistema de ventilação otimizado, a economia de vapor é de cerca de 0,72 MMBtu/ tonelada de papel, e a economia de eletricidade é de 6,3 kWh/ tonelada de papel. Custos de investimento e operação e manutenção foram relatados em US\$ 9,5/ tonelada de papel e US\$ 0,07/ tonelada de papel, respectivamente (Martin et al., 2000).

2.2.1.23 UTILIZAÇÃO DE PRENSAS MAIS EFICIENTES

Segundo Kramer et al. (2009), depois que o papel é formado, ele é pressionado para remover o máximo de água possível. Normalmente, a prensagem ocorre entre dois cilindros rotativos. No caso desta tecnologia, ao invés da utilização de dois cilindros rotativos, usa-se uma prensa côncava como substituição de um dos cilindros (Martin et al., 2000). Sendo assim, a área de prensagem adicional acaba por aumentar o tempo de permanência na prensagem e permite uma maior extração de água (cerca de 5% a 7% a mais de remoção de água) a um nível de 35% a 50% de secura do papel (Elaahi e Lowitt, 1988). Com uma maior extração de água na prensagem, há uma diminuição da demanda de energia no secador, o que leva a uma redução na demanda de vapor (Martin et al., 2000).

As estimativas publicadas para a economia de vapor alcançáveis através da instalação de uma prensa côncava podem variar de 2% a cerca de 15%, dependendo da configuração da planta (Martin et al., 2000; Focus on Energy, 2006a). Custos de capital foram estimados em US\$ 38,00/ tonelada de papel e os custos de manutenção adicionais em US\$ 2,24/ tonelada de papel (De Beer et al., 1994).

2.2.1.24 SECADORES “CONDEBELT”

Os primeiros secadores “CondeBelt” comerciais foram instalados na Finlândia, em 1996, e na Coreia, em 1999 (Martin et al., 2000). No secador “CondeBelt” o papel é seco por contato com uma peça de

aço quente, aquecida por vapor ou gás quente. A água do papel é evaporada com o calor da peça de metal (De Beer et al., 1998). Esta técnica de secagem tem o potencial de substituir completamente a seção de secagem de uma máquina convencional de papel, com uma velocidade de secagem de 5 a 15 vezes maior do que a secagem convencional por vapor (Martin et al., 2000).

Os custos de capital são considerados elevados, apesar de o tamanho da área de secagem ser reduzido (Kramer et al., 2009). Martin et al. (2000) estima uma poupança de 15% no consumo de vapor (1,5 MMBtu / tonelada de papel) e uma ligeira redução no consumo de energia elétrica (20 kWh / tonelada de papel), com custos de investimento de US\$ 28,00/ tonelada de papel (De Beer et al., 1998).

2.2.1.25 SECAGEM POR IMPACTO DO AR

A técnica de secagem por impacto do ar envolve a penetração com alta velocidade de ar quente na folha de papel molhada, através dos queimadores a gás. A secagem por impacto do ar leva a um menor consumo de vapor, porém a um maior consumo de eletricidade (Martin et al., 2000). De acordo com Martin et al. (2000) e Focus on Energy (2006a), a aplicação da técnica pode levar a reduções de 10% a 14% no consumo de vapor, com um aumento no consumo de eletricidade da ordem de 5%. Sendo assim, dado que esta medida envolve um *trade-off* entre o consumo de vapor e o consumo de eletricidade, e a extensão deste *trade-off* varia de acordo com a instalação, é importante que se verifique a redução líquida no consumo de energia, verificada em cada tipo de instalação (Kramer et al., 2009).

2.2.1.26 RESUMO: PRINCIPAIS MEDIDAS DE AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A seguir são apresentadas as medidas de eficiência energética que foram selecionadas pelo processo de modelagem integrada no projeto “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa”. Os custos operacionais, de instalação e potenciais de redução de consumo de combustível são apresentados em conjunto.

Tabela 30: Resumo dos dados de algumas BAT analisadas

Medida	Custo de investimento (US\$ (2010)/ tonelada de produto)	Custo de O&M (US\$ (2010)/ tonelada de produto)	Potencial de redução no consumo de combustível (%)
Caldeira Auxiliar com Controle de Processo	0,59	0,12	2,8
Caldeira Auxiliar com Recuperação de Vapor	1,18	0,16	1,2
Caldeira Auxiliar com Retorno de Condensado	5,59	0,79	13,8

Medida	Custo de investimento (US\$ (2010)/ tonelada de produto)	Custo de O&M (US\$ (2010)/ tonelada de produto)	Potencial de redução no consumo de combustível (%)
Manutenção da Caldeira Auxiliar	-	0,09	10
Modificações no Forno de Cal	3,68	-	5
Caldeira de Papel com Controle de Processo	0,59	0,12	2,8
Caldeira de Papel com Recuperação de Vapor	1,18	0,16	1,2
Caldeira de Papel com Retorno de Condensado	5,59	0,79	13,8
Manutenção da Caldeira de Papel	-	0,09	10
Secadores CondeBelt	37,5	-	15
Prensas mais Eficientes	55,9	3,3	15

Fonte: Elaboração do autor.

2.2.1.27 CONCLUSÕES

Segundo o Balanço Energético Nacional 2013 (EPE, 2014), o setor de papel e celulose foi o terceiro maior consumidor de energia do segmento industrial brasileiro neste ano, tendo sido responsável por aproximadamente 14% do consumo total da indústria. Ainda segundo EPE (2014), o setor aumentou significativamente seu uso da energia nos últimos dez anos, apresentando no ano de 2013 um consumo de aproximadamente 10,5 milhões de tep, o que é um montante 45% acima do valor publicado para o ano de 2004.

Os principais energéticos utilizados pelo setor foram a lenha, correspondendo por 47,1% do total da energia utilizada, em seguida a eletricidade com 15,9%, gás natural com 15,3% e gás natural com 7,6%. Sendo assim, observa-se que, apesar do setor ser intensivo no uso de energia, grande parte de sua geração advém de fontes renováveis.

Segundo Henriques Jr. (2010), praticamente todas as etapas do processo fabril de papel e celulose apresentam alta intensidade energética. No Brasil, o consumo específico no ano de 2013 foi de 22,3 GJ/t de papel e celulose. Excluindo-se a energia elétrica, este consumo específico resultou em 18,7 GJ/t de papel e celulose. Se considerada a adoção das melhores tecnologias, de acordo com IEA (2007) e WORREL et al. (2008), e a cesta atual de produtos (rotas de processamento de celulose e os

diversos tipos de papel), poderia se projetar o consumo específico global ideal a ser atingido entre 13,5 e 14,5 GJ/t de papel e celulose ou entre 11,5 e 12,3 GJ/t para somente a energia térmica, indicando consideráveis reduções para o uso de BATs no setor.

Dentre as medidas avaliadas, os maiores potenciais de redução de consumo de combustíveis estão associados aos maiores custos tanto de investimentos, como de O&M. O uso de prensas mais eficientes tem um potencial de reduzir 15% do consumo energético, porém com um custo de investimento de 55,9 US\$/t de produto. As medidas Caldeira de papel com retorno de condensado e Caldeira auxiliar com retorno de condensado possuem um potencial de quase 14% com um custo de cerca de 90% menor que o uso de prensas mais eficientes.

Química

2.2.2 QUÍMICA¹⁰

2.2.2.1 CATALISADORES

A IEA (2014) analisou os 18 principais produtos da indústria química mundial (Figura 11 e Figura 12); e propôs ações em quatro grupos de produtos: olefinas (etileno e propileno), amônia, aromáticos BTX e metanol.

¹⁰ Texto utilizou o estudo desenvolvido no projeto “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave no Brasil” – BRASIL (2017b).

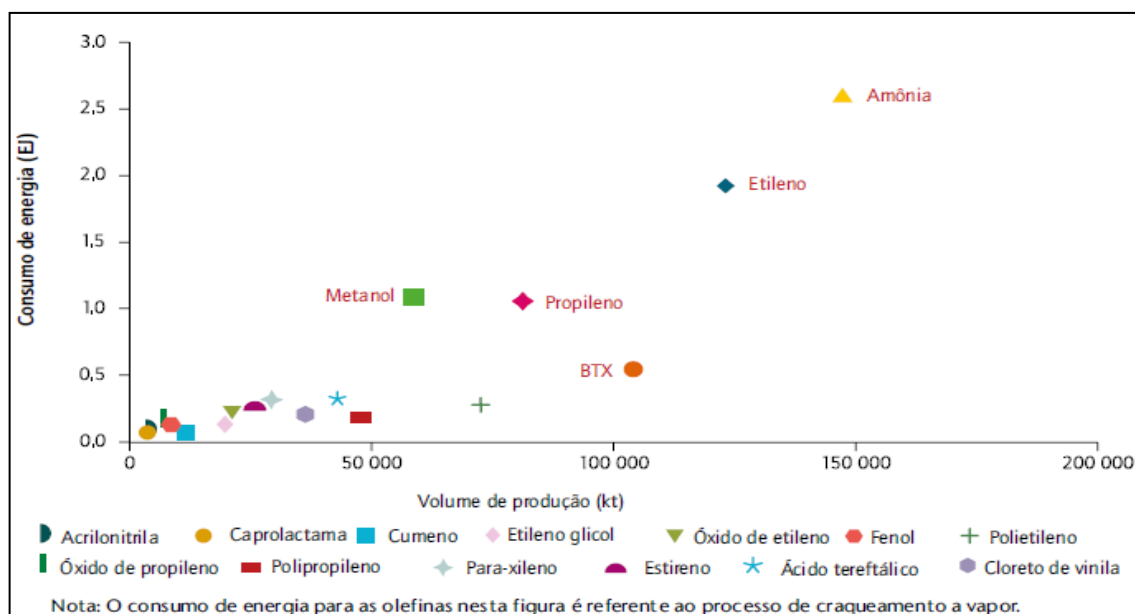


Figura 11: Consumo global de energia (Exajoule - EJ) vs. volume de produção (kilotonelada - kt) dos 18 principais produtos químicos de grande volume, 2010

Fonte: IEA (2014).

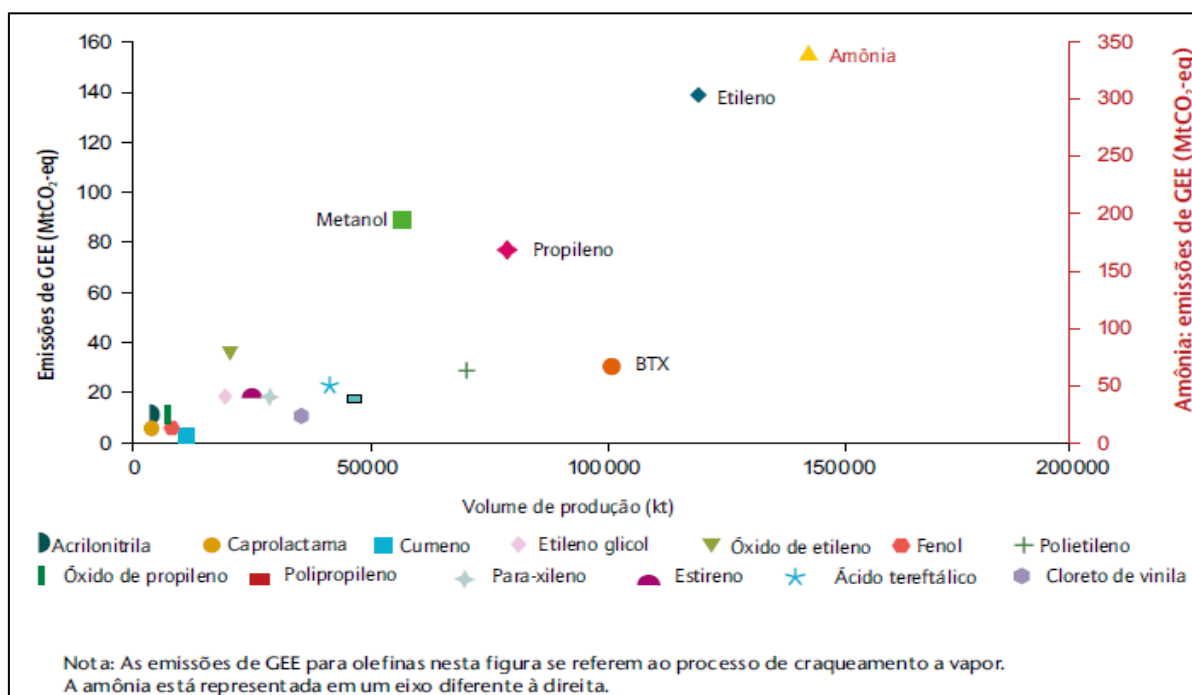


Figura 12: Emissões globais de GEE vs. volume de produção dos dezoito principais produtos químicos de grande volume, 2010. Fonte: IEA (2014).

Fonte: IEA (2014).

2.2.2.1.1 TECNOLOGIAS EMERGENTES

Neste caso, destaca-se o “Craqueamento Catalítico da Nafta” como alternativa ao craqueamento a vapor¹¹, com uma possível redução de 2,3 EJ até 2050 e mitigação de emissões de GEE estimadas em cerca de 140 MtCO₂eq. (Ren et al., 2009). No entanto, há apenas uma planta com essa rota tecnológica em operação comercial, localizada na China (IEA, 2014).

Por sua vez, a rota - MTO (*metanol-to-olephyns*) – é uma alternativa ao craqueamento a vapor de etano ou nafta. Porém, o potencial de redução de emissões de GEE do MTO seria nulo devido ao grande consumo de energia no processo de produção de metanol, cerca do dobro da rota convencional de craqueamento.

Na produção de óxido de propileno pela rota HPPO peróxido de hidrogênio óxido de propileno, o consumo de energia é 35% inferior à rota convencional. Contudo, analisando-se a completa, que inclui a demanda de energia no processo produtivo do peróxido, a redução do uso final de energia final atinge cerca de 10%.

Finalmente, Gecats (2010) indica o processo de eletrocatalise como uma tecnologia emergente, onde é realizada a combinação de uma pilha combustível alcalina com uma célula eletrolítica convencional. Essa rota é desenvolvida a partir da pilha PEM, sendo que aproximadamente 5% da produção de cloro no mundo faz uso dessa combinação.

2.2.2.1.2 TECNOLOGIAS DE RUPTURA

As tecnologias de ruptura possuem, em geral, maiores potenciais de redução do uso final de energia e consequente mitigação de emissão; entretanto têm maiores contingências de projeto e processo.

Incluem-se aqui:

- Uso de hidrogênio para produção de amônia e metanol
 - Produção de H₂ por decomposição eletrolítica da água;
 - Síntese de amônia a partir de H₂ e N₂ gasoso;
 - Síntese do metanol a partir do H₂.
- Uso de biomassa como matéria-prima
 - Gaseificação
 - Fermentação

A Figura 13 e Figura 14 mostram as projeções do consumo de energia e emissões de GEEs até 2050 em um cenário de adoção de 30% dessas tecnologias ao longo do tempo.

¹¹ Principal rota de produção de olefinas atualmente no mundo.

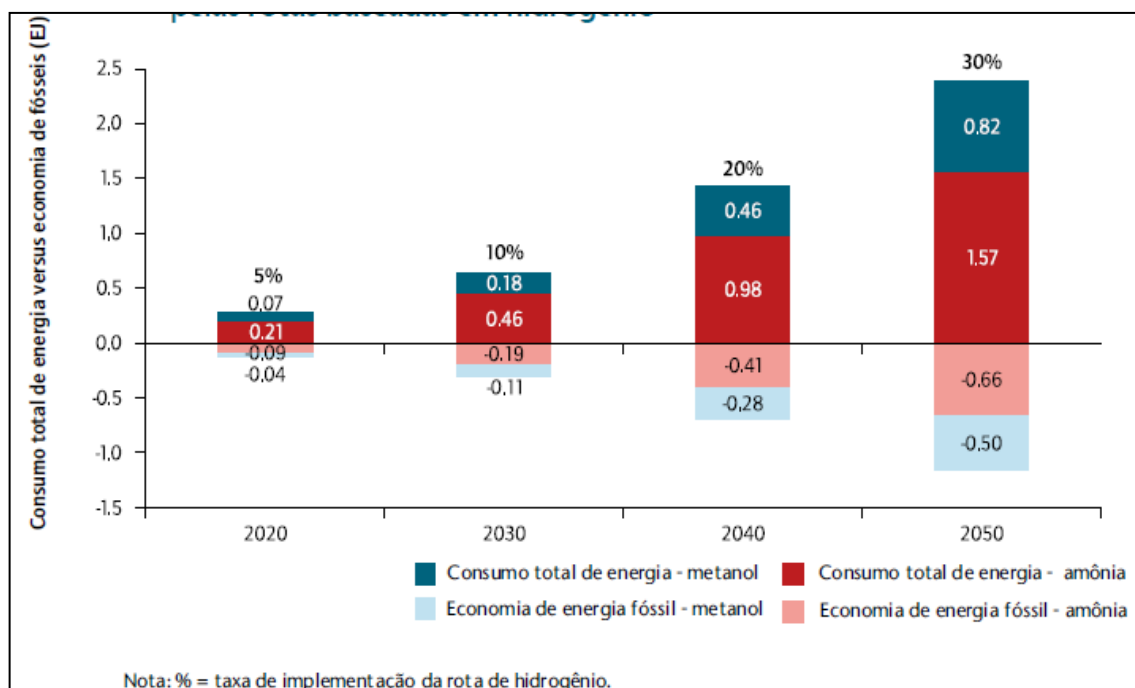


Figura 13: Demanda adicional de energia vs. Redução do uso de energia fóssil pela substituição dos atuais processos de produção de amônia e metanol por rotas baseadas em H2

Fonte: IEA (2014).

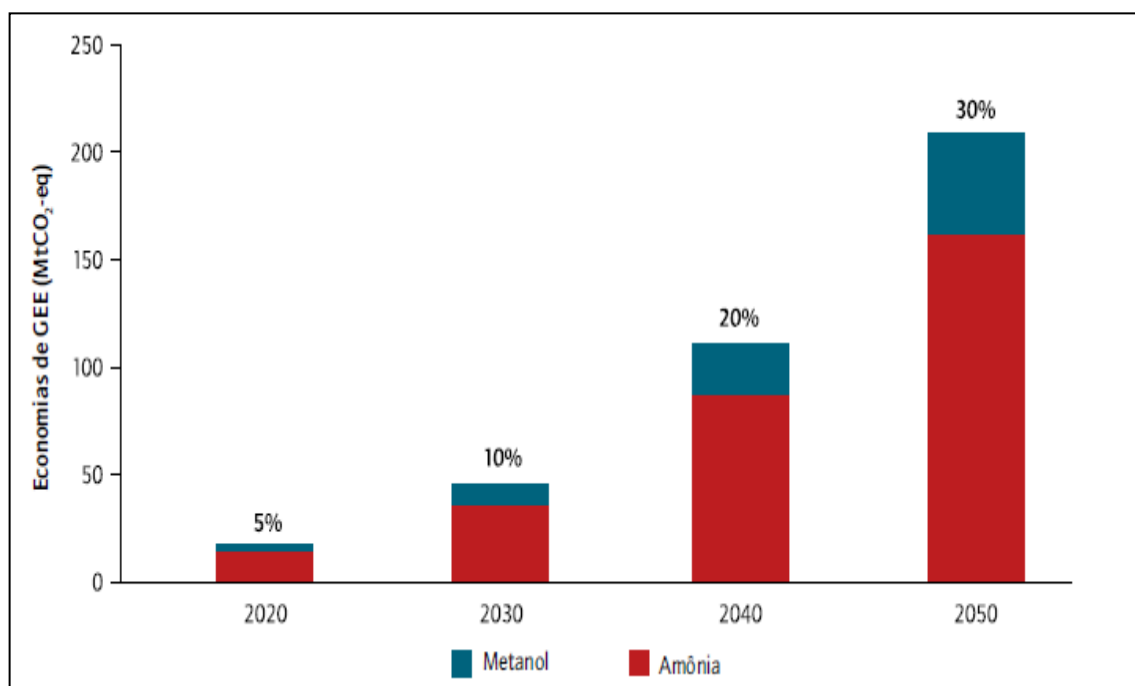


Figura 14: Mitigação de emissão de GEEs na produção de amônia e metanol com base em hidrogênio

Fonte: IEA (2014).

No caso da conversão da biomassa, o processo de gaseificação consiste na produção de um gás de síntese que é convertido em metanol, seguindo posteriormente a rota MTO. Já a rota fermentativa,

aquela adotada no caso da unidade da Braskem no Brasil, faz uso da fermentação, onde matérias-primas com a presença de açúcares ou amido são usadas.

As duas rotas são muito energo-intensivas quando comparadas às rotas convencionais. Entretanto, podem reduzir as emissões de GEE diante da conversão da biomassa (Figura 15 e Figura 16).

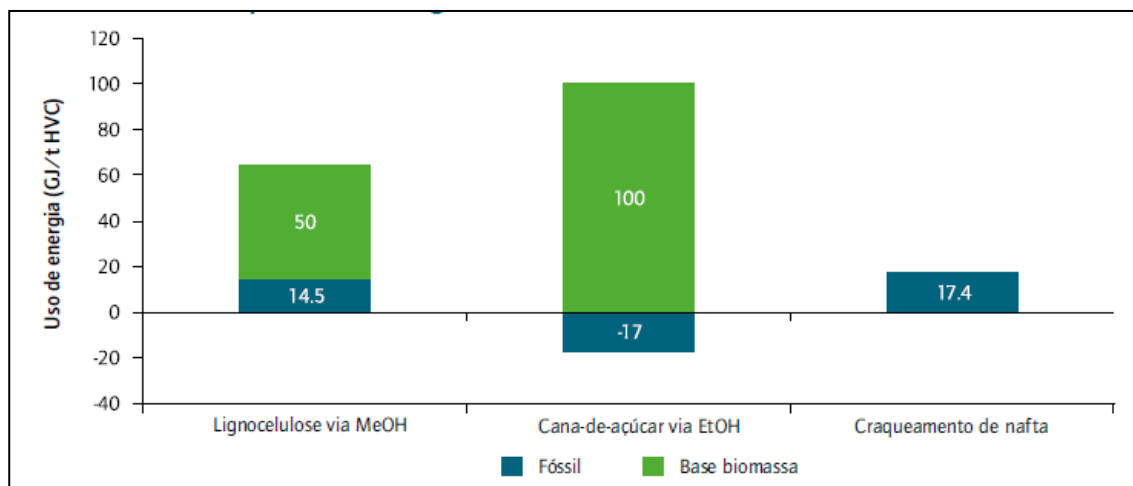


Figura 15: Uso de energia de biomassa vs. Fóssil das rotas de produção de olefinas

Fonte: IEA (2014).

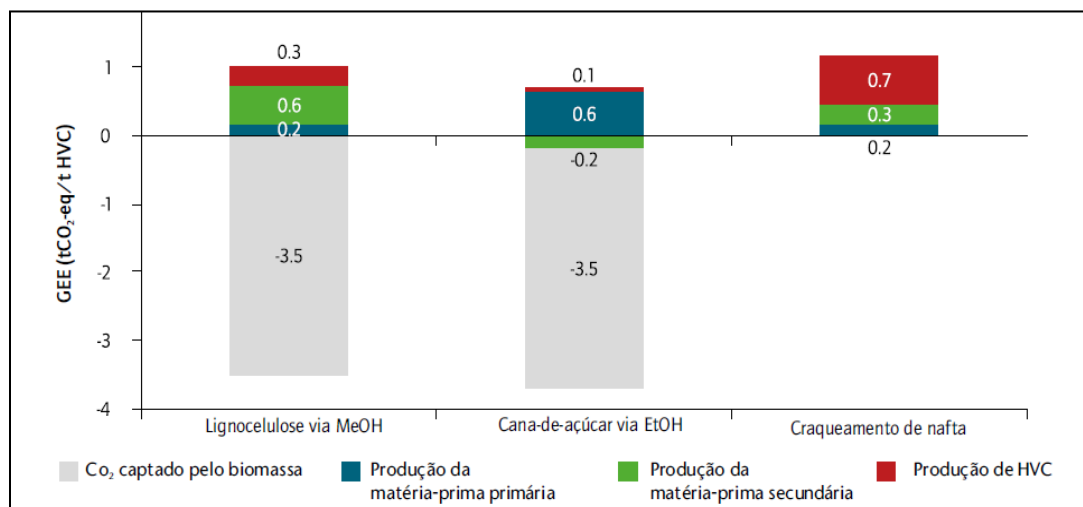


Figura 16: Emissões de GEE para rotas de biomassa vs. Fósseis para HVC, incluindo a cadeia de processos total

Nota: A emissão de GEE associada a LULUCF não foi aqui contabilizada.

Fonte: IEA (2014).

2.2.2.2 QUÍMICA VERDE

A química verde é definida como aquela que conduz ações científicas e/ou processos industriais ecologicamente corretos, acoplando, assim, os interesses da inovação química com os interesses da sustentabilidade ambiental (CGEE, 2010). De acordo com os 12 princípios de Química Verde

(ANASTAS e WARNER, 2000), "química verde consiste na utilização de um conjunto de princípios que reduzem ou eliminam o uso ou a geração de substâncias perigosas durante o planejamento, manufatura e aplicação de produtos químicos". Os 12 princípios são:

- Prevenção - Evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo ou "limpá-lo" após sua geração.
- Economia de Átomos - Deve-se procurar desenhar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final.
- Síntese de Produtos Menos Perigosos - Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.
- Desenho de Produtos Seguros - Os produtos químicos devem ser desenhados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos.
- Solventes e Auxiliares mais Seguros - O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes, etc.) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário e, quando utilizadas, estas substâncias devem ser inócuas.
- Busca pela Eficiência de Energia - A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.
- Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima - Sempre que técnica- e economicamente viável -, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não-renováveis.
- Evitar a Formação de Derivados - A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.
- Catálise - Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.
- Desenho para a Degradação - Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.
- Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição - Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.
- Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes - As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

O Brasil possui grande disponibilidade de matérias-primas de diferentes naturezas, com destaque para a cana-de-açúcar e o milho (30% da produção mundial); resíduos agroindustriais (bagaço de cana e palha de cana); óleos e gorduras (óleo de soja) (Bain & Company, 2014).

Dentro desse contexto, o estudo de Bain & Company e a Gas Energy (2015) destaca:

- a. Instalação de biorrefinarias de biomassa (palha e bagaço de cana) próximas a usinas sucro-alcooleiras;
- b. Produção de bioquímicos, como glicerina e propilenoglicol, aproveitando-se a estrutura existente da cadeia de óleos.

2.2.2.2.1 BIORREFINO – ROTAS BIOQUÍMICA E TERMOQUÍMICA

Na rota bioquímica, o etanol de segunda geração é produzido a partir de matéria lignocelulósica, hidrolisada via processos microbiológicos (hidrólise ácida ou a sacarificação enzimática), disponibilizando os açúcares demandados para a fermentação. Entretanto, a hidrólise total da celulose produz glicose, que pode ser convertida em ácidos orgânicos, glicerol, sorbitol, entre outros. De forma semelhante, a fração hemicelulósica e a lignina presentes nos resíduos de biomassa hidrolisados, também podem ser convertidas em subprodutos de alto valor agregado (CGEE, 2010).

Segundo o CGEE (2010), merecem ênfase neste caso:

- a. Melhorias na etapa de pré-tratamento, com minimização de toxinas e redução de custos de equipamentos;
- b. Desenvolvimento de processos produtivos de celulasas por fermentação submersa e no estado sólido;
- c. Desenvolvimento de microorganismos ótimos e resistentes;
- d. Conversão de ambas frações celulósicas e hemicelulósicas a etanol; e) estudo detalhado de integração de processo;
- e. Estudo detalhado de viabilidade econômica.

A rota termoquímica baseia-se, sobretudo, na gaseificação associada à síntese FT (ou mesmo outras sínteses), através da qual, diferentes produtos podem ser obtidos (Figura 17).

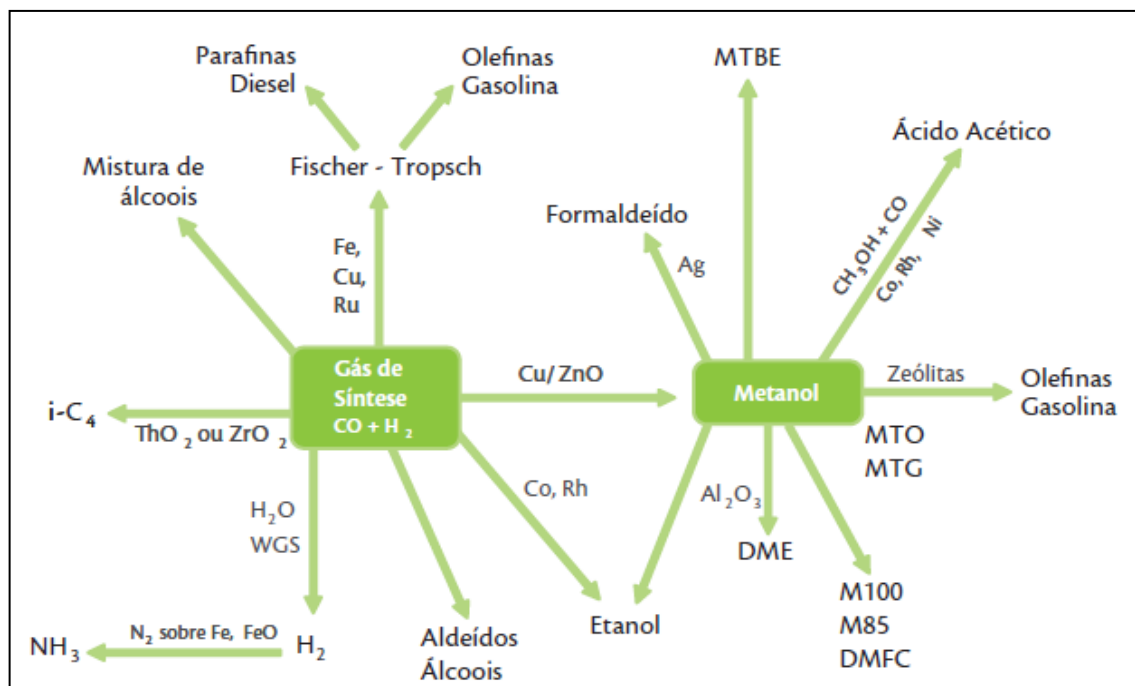


Figura 17: Rotas potenciais a partir do gás de síntese

Fonte: CGEE (2010).

2.2.2.2.2 ALCOOLQUÍMICA E SUCROQUÍMICA

O baixo custo de produção do etanol no Brasil faz com que a alcoolquímica apresente potencial no Brasil. Entretanto, existem diferentes desafios para realizar este potencial:

- Obtenção de propeno via etanol empregando o menor número de etapas reacionais;
- Produção de acetato de etila a partir de etanol via oxidativa ou via desidrogenativa em reator único;
- Produção de ácido acético a partir de etanol em reator único;
- Produção de 1-butanol a partir de etanol em reator único e;
- Obtenção de 1,3-butadieno a partir de etanol em reator único (CGEE, 2010).

Caso os insumos principais para a produção química sejam derivados e resíduos da cana-de-açúcar, a rota se denomina sucroquímica, conforme descrito na Figura 18. Onde os derivados de açúcares sacarose, pentoses e hexoses produzem propeno, eteno, butadieno, THF, entre outros.

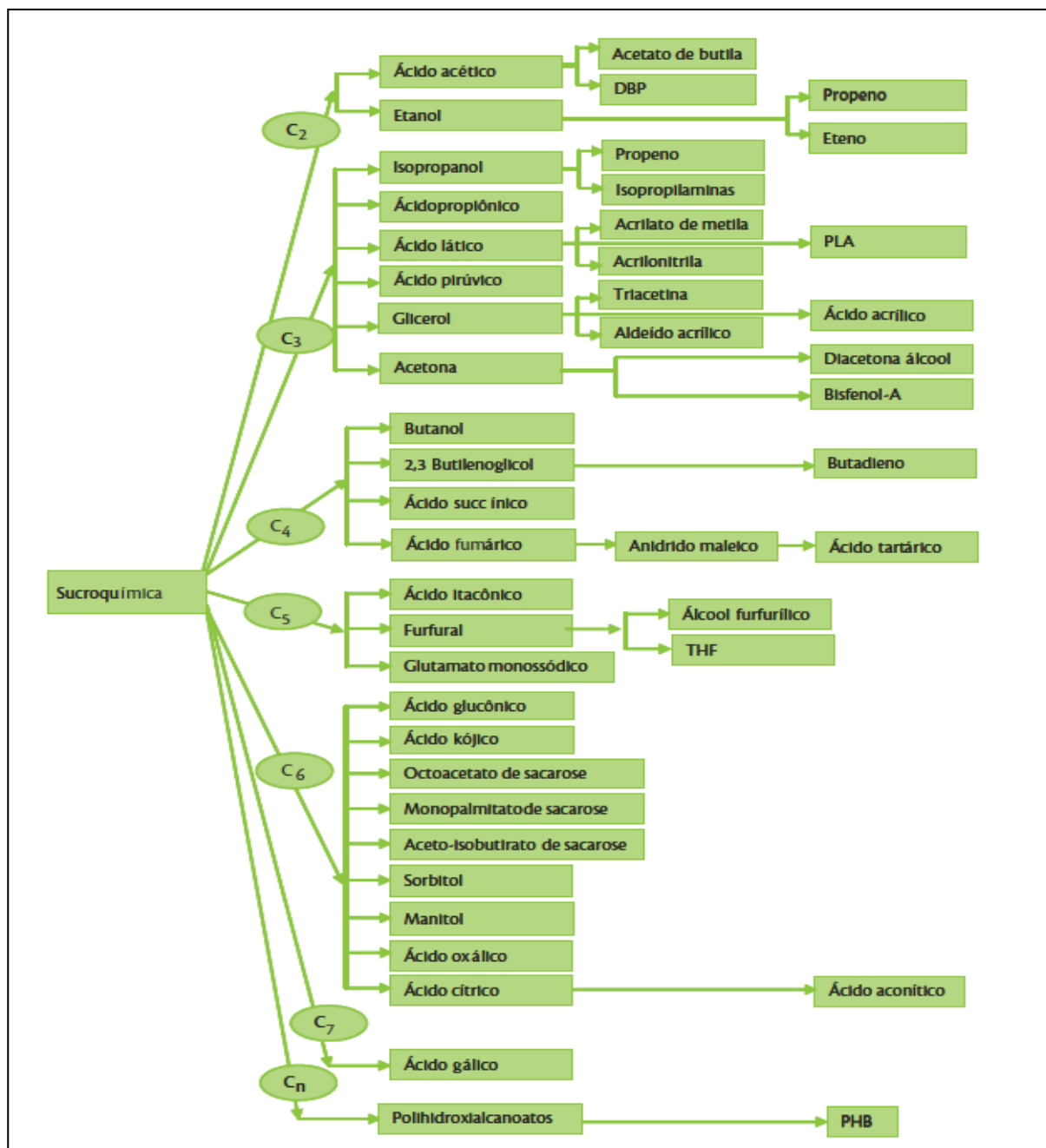


Figura 18: Esquema básico da sucroquímica

Fonte: CGEE (2010).

2.2.2.2.3 OLEOQUÍMICA

Os principais oleoquímicos são derivados de ácidos graxos, compostos nitrogenados graxos, álcoois graxos e glicerol, conforme mostra a cadeia da Figura 19.

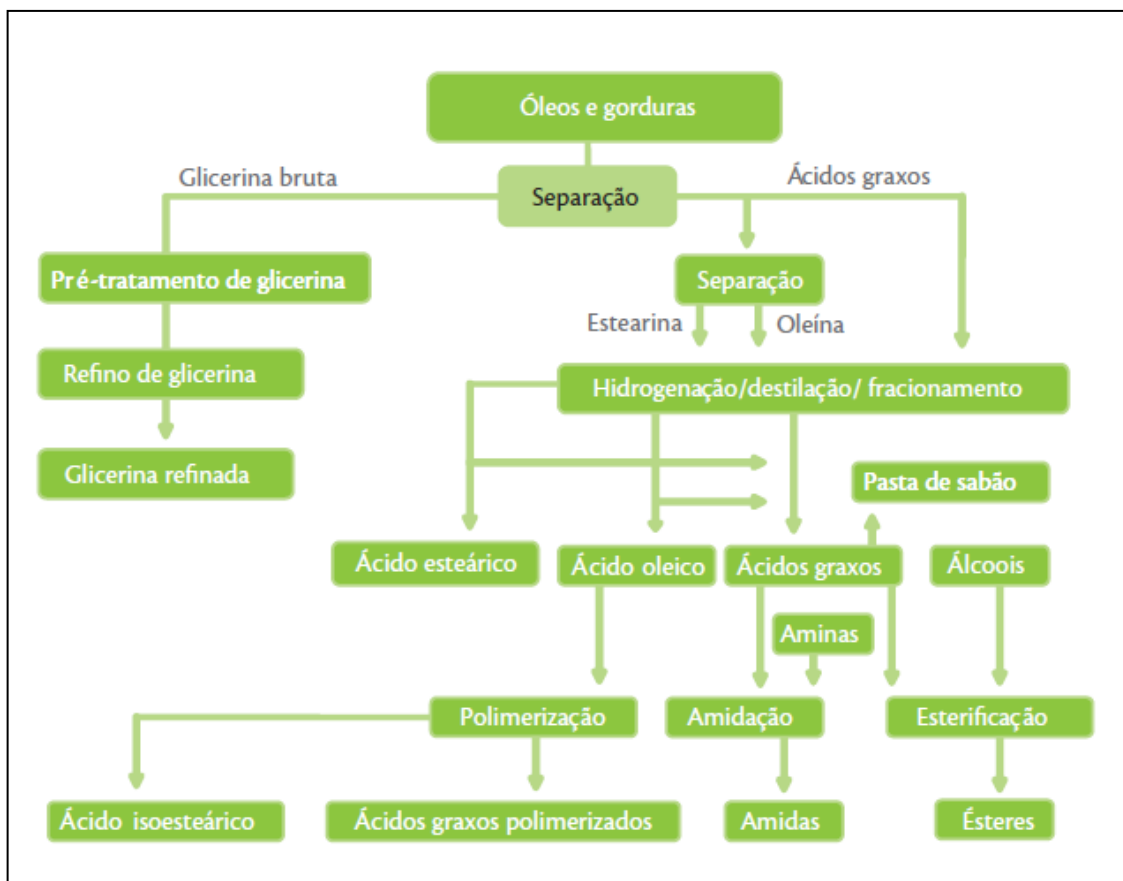


Figura 19: Esquema básico da oleoquímica

Fonte: CGEE (2010).

O estudo do CGEE (2010) indica que rotas de conversão de glicerina em petroquímicos e aditivos de combustíveis já foram elaboradas. Como exemplo, pode-se citar o uso de desidratação para produção de acroleína e ácido acrílico, ou ainda a hidrogenólise para produção de propeno. Isto é, um conjunto significativo de ácidos graxos, com diversas características químicas pode ser gerado por rotas oleoquímicas.

Em CGEE (2010) é também mencionada a existência de óleos vegetais para conversão catalítica em matérias-primas orgânicas ou poliméricas. Os polímeros podem ser preparados por triacilgliceróis como óleos oxipolimerizados, poliésteres, poliéteres, poliuretanas, poliamidas, resinas epóxi, poliésteramidas, entre outros.

2.2.2.3 CONVERSÃO QUÍMICA DE CO₂

A conversão química do CO₂ é ilustrada na Figura 20.

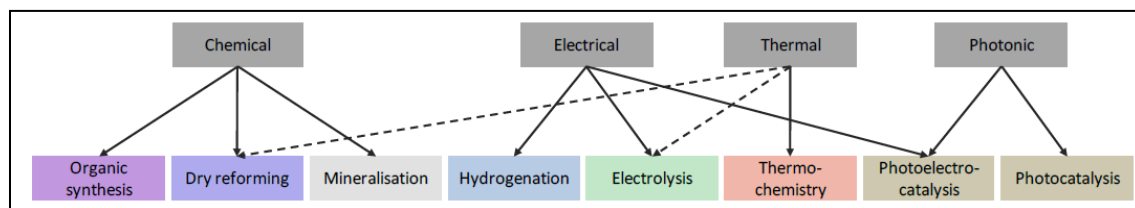


Figura 20: Fontes de energia utilizadas para diferentes processos de conversão de CO2

Fonte: Khamlichi & Thybaud (2014).

Neste caso, poucas rotas atingiram maturidade comercial, à exceção da reforma de CO₂ do metano para gás de síntese e o processo de transformação de óxido de carbono em líquidos (*carbono oxide-to-liquids*, CO₂-CTL). O uso de CO₂ para a produção de químicos orgânicos (como álcool metílico, DMC, etc) e materiais orgânicos funcionais (como polímeros biodegradáveis, isocianatos, poliuretanos, etc) ainda está em escala piloto de teste ou em fase de demonstração (CLSForum, 2015).

Thybaud (2014) destaca como potenciais tecnologias a síntese de metanol por hidrogenação direta, a síntese de carbonato de sódio por mineralização aquosa e a síntese de ácido fórmico por redução eletroquímica.

2.2.2.4 TECNOLOGIAS TRANSVERSAIS

Medidas transversais podem ser aplicadas a diferentes processos/segmentos da indústria química, sendo, portanto, passíveis de uso nas plantas instaladas. Por exemplo, Sistemas de Controle Avançados permitem a otimização dos processos industriais fazendo uso de *softwares* responsáveis pelo monitoramento em tempo real das variáveis relevantes em cada etapa do processo, melhorando a confiabilidade da planta, o uso de combustíveis e matéria-prima e a qualidade do produto final (IPP< 2015).

A integração energética e/ou mássica entre correntes de processos também é uma medida transversal relevante. Por exemplo, o condensado gerado no processo de plantas de amônia apresenta teores de amônia, metanol e CO₂, que são removidos com vapor a baixa pressão (3 kg/cm²), que é posteriormente ventilado para a atmosfera. Vapor de processo de média pressão (38-40 kg/cm²) pode ser usado para remoção dos contaminantes do condensado, com isso o vapor de saída (após o processo de remoção) pode ser totalmente utilizado, misturando-o com o vapor de alimentação do reformador. Como o vapor de remoção é agora reutilizado, substituindo parte do vapor previamente fornecido por caldeiras auxiliares, o consumo de energia total é reduzido. Além disso, a qualidade do condensado é melhorada e pode ser reutilizada (IIP, 2015).

Outro exemplo interessante avaliado no estudo de Opções de Mitigação inclui a utilização de sistemas de velocidade variável em motores e bombas (VSD – *variable speed drivers*).

2.2.2.5 *QUADRO RESUMO*

O quadro-resumo (Tabela 31) destaca as opções tecnológicas específicas do setor de Química e seus respectivos potenciais e referências:

Tabela 31: Potenciais de abatimento para as opções tecnológicas da indústria química

Opções Tecnológicas		Potencial		Fonte
		Base energética	Base emissões	
Biomassa como matéria-prima	Metanol via Lignocelulose	SEC 3,5 a 5x superior a rotas convencionais;	2,4 tCO ₂ eq/t HVC capturado	IEA (2014)
	Etanol via Cana-de-açúcar	demanda de energia fóssil 20% a 200% inferior	2,8 tCO ₂ eq/t HVC capturado	IEA (2014)
Uso de H ₂ de fontes renováveis para produção de amônia e metanol		Amônia: +26 GJ/t Metanol: + 15,7 GJ/t	Mitigação mundial > 200 MtCO ₂ eq até 2050 a taxa de penetração de 30% a.a.	IEA (2014)
Produção de olefinas via tratamento catalítico da nafta		10%-20% menos energia	-	IEA (2014), Ren (2009)
Produção de olefinas via metanol		Não apresenta potencial de abatimento		IEA (2014)
Rota HPPO para óxido de propileno		Economia líquida de 10% a 12%	-	IEA (2014)
Eletrocatalise		Redução da voltagem para 1 Volt	-	Gecats (2010)
Captura e armazenamento de carbono		-	1,2 MtCO ₂ /ano (Brasil)	Oliveira (2015)
Captura e utilização de carbono	Síntese de metanol por hidrogenação direta	-	Ordem de x10 MtCO ₂	Khamlichi & Thybaud (2014)
	Síntese de carbonato de sódio por mineralização aquosa	-	Ordem de Mt	Khamlichi & Thybaud (2014)

Opções Tecnológicas	Potencial		Fonte
	Base energética	Base emissões	
Síntese de ácido fórmico por redução eletroquímica	-	Ordem de x100 ktCO ₂	Khamlichi & Thybaud (2014)

Fonte: Brasil (2017).

2.2.2.6 CONCLUSÕES

O setor químico no Brasil passa por dificuldades, porque se baseia fortemente em matéria-prima importada, nafta, extremamente sujeita a variações no preço do óleo leve ou mesmo gás natural, também importado pelo Brasil na forma liquefeita, GNL, atualmente em base *spot*, e, neste caso, sendo afetado pelo uso de termelétricas a gás natural. As perspectivas de substituição da matéria-prima petroquímica nafta por gás é um anseio do setor químico, mas que enfrenta obstáculos associados aos investimentos e à própria competitividade do gás no Brasil. A transição para matérias-primas renováveis envolve de um lado vantagens comparativas do país, mas, de outro, investimentos de longo prazo e de alto risco, dentro de um setor no qual os grandes players atuais enfrentam falta de caixa livre para investir. Neste sentido, medidas incrementais que envolvem baixo investimento relativo, como substituição de queimadores para reposição, controle avançado de processos, entre outras, parecem mais factíveis no curto prazo que está associado à NDC brasileira.

2.2.3 CIMENTO¹²

A produção de cimento é um processo energointensivo, o que resulta em emissões de dióxido de carbono não só pelo consumo de combustíveis, como pela calcinação do calcário. Assim, a aplicação de medidas de eficiência energética é altamente significativa para que estas emissões sejam reduzidas, assim como seus impactos ao meio ambiente.¹³

Segundo informações da SNIC e de grandes players do setor de cimento brasileiro (Bernart Jr., 2015), foram verificadas as seguintes informações sobre o setor de cimento nacional:

- Grande parte das unidades fabris cimenteiras nacionais são modernas;
- Cerca de 99% das unidades operam com fornos curtos, enquanto apenas 1% ainda utilizam fornos longos;
- Aproximadamente 60% dos fornos curtos instalados no Brasil já possuem pré-calcinadores;
- Cerca de 30% das unidades nacionais possuem moinhos avançados de alta-pressão;
- O uso de classificadores de elevada eficiência na moagem final do cimento já é realizado em 80% das fábricas brasileiras;
- A experiência do setor aponta que a utilização de pré-aquecedores e pré-calcinadores em fornos longos não é uma boa opção, sendo mais recomendada a substituição do forno longo por um forno curto combinado aos elementos supracitados;
- A melhora da eficiência do forno rotativo através dos sistemas de isolamento mais avançados só é interessante em casos onde o forno é antigo;
- Fornos modernos já possuem sistemas de combustão avançados, sendo possível uma melhora apenas em casos onde existe a opção de uso de combustíveis não nobres (como resíduos ou biomassa);
- De maneira geral, a indústria de cimento tende a optar pela construção de novas linhas de produção completamente novas e modernas em lugar do *retrofit* de fornos antigos e ineficientes.

O consumo de energia dos fornos [GJ/ton de clínquer] e de eletricidade [kWh/ton cimento] específicos da indústria brasileira de cimento podem ser verificados no Balanço Energético Nacional no ano de 2010 (EPE, 2015):

¹² Texto utilizou o estudo desenvolvido no projeto “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave no Brasil” – BRASIL (2017b).

¹³ No contexto atual brasileiro, entretanto, pelo fato de o país apresentar unidades fabris modernas, boa parte das oportunidades de mitigação via eficiência energética já foram exploradas.

- Consumo Energético Específico dos Fornos: 3,7 GJ/ton de clínquer
- Consumo de Eletricidade Específico das Unidades: 91 kWh/ton de cimento

Neste contexto, este item descreverá as melhores tecnologias disponíveis (BATs) de controle de emissões para o setor de cimento. As BATs são o estágio mais eficaz e avançado no desenvolvimento de atividades e seus métodos de operação, as quais indicam a adequação prática de técnicas específicas para a redução das emissões e dos impactos ao meio ambiente (MARNERI *et al.*, 2001). Tais tecnologias já estão disponíveis comercialmente em plantas nacionais ou internacionais.

2.2.3.1 PROCESSO VIA SECA COM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS DE PRÉAQUECEDORES E PRÉ-CALCINADORES

A tecnologia mais avançada para os fornos é o processo via seca combinado a estágios de preaquecimento e pré-calцинаção. Estes estágios utilizam o calor residual do forno e do resfriador do clínquer para preaquecer e pré-processar a alimentação do forno e, assim permitir consideráveis economias de energia (IIP, 2015).

Existem três tipos de fornos rotativos para clinquerização: forno sem preaquecedor, forno com preaquecedor e forno com preaquecedor e precalcinador. O segundo e terceiro são mais vantajosos que o primeiro, já que eles apresentam um consumo menor de energia. Por esta razão, fornos sem preaquecedores têm sido substituídos ao longo dos anos. Plantas novas incluem, além do preaquecedor, o pré-calcinador, o que reduz ainda mais a energia termal do processo (IEA, 2010).

Um preaquecedor consiste numa série de ciclones verticais nos quais o material passa em contracorrente com os gases de exaustão do forno, assim o calor é transferido do gás quente para a farinha crua, que é preaquecida e parcialmente calcinada (30%), antes de entrar no forno. Quanto maior o número de estágios do ciclone, maior a quantidade de calor recuperada (IIP, 2015).

Sistemas de fornos com cinco estágios de ciclones preaquecedores e pré-calcinadores são considerados uma tecnologia padrão para novas plantas (IIP, 2015). O consumo de energia para diferentes fornos cimenteiros pode ser visto na Tabela 32.

Tabela 32: Consumo de energia para diferentes fornos de cimento

Processo	Consumo de energia (GJ/t clínquer) ¹⁴
Via úmida	5,9 - 6,7
Via seca	4,6

¹⁴ Destaca-se que tais resultados podem variar de acordo com a umidade e com a queimabilidade das matérias-primas.

Processo	Consumo de energia (GJ/t clínquer) ¹⁴
1º estágio preaquecedor	4,2
2º estágio preaquecedor	3,8
3º estágio preaquecedor	3,3
4º estágio preaquecedor	3,1
5º estágio preaquecedor	3,0 - 3,1
6º estágio preaquecedor	2,9

Fonte: FLSMidth (2006).

A economia de combustível desta tecnologia pode chegar a 3 GJ/ t clínquer e o consumo elétrico pode aumentar para 9 kWh/ t clínquer. O potencial de redução de emissão diretas de CO₂ foi estimado entre 4 a 18 kg CO₂/t clínquer e de indiretas de 0 a 0,7 kg CO₂/t clínquer¹⁵.

2.2.3.2 CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO NA PRODUÇÃO DE CLÍNQUER

A otimização do processo de produção do clínquer é feita para reduzir o consumo de calor, aprimorar a qualidade do clínquer e aumentar a vida útil dos equipamentos pela estabilização dos parâmetros do processo. Para isto, devem ser incluídas técnicas que assegurem a composição ótima da farinha crua, gerenciem adequadamente os processos de combustão e melhorem a operação de arrefecimento (IIP, 2015).

Processos que não são automatizados ou não otimizados podem levar a perdas de calor e instabilidades de processo causando paragens operacionais (CSI/ECRA, 2009). Atualmente, todos os fornos modernos são equipados com sistemas de controle e otimização (CSI/ECRA, 2009). Ademais, o custo de operação de um forno otimizado é atenuado devido à redução de combustível e refratário, redução do custo de manutenção e aumento da produtividade (IIP, 2015).

Além de automatizar a pesagem e homogeneização do processo, outros parâmetros como ar, vazão mássica e variação de temperatura podem ser controlados para otimizar a operação do forno (IIP, 2015). Sistemas adicionais de controle incluem o uso de analisadores online que permitem que os operadores determinem a composição química das matérias-primas e do produto, viabilizando mudanças imediatas na mistura desses materiais. Assim, o sistema de controle do processo do forno melhora a recuperação de calor, passagem de material e aumenta a confiabilidade do teor de cal livre contido no clínquer (IIP, 2014; IPPC, 2013; CSI/ECRA, 2009).

¹⁵ Informação disponível em:

http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html.

De acordo com CSI/ECRA (2009), esta tecnologia impacta no decréscimo de energia térmica de 50 a 100 MJ/t clínquer e de energia elétrica de 0 a 1 kWh/t clínquer. Já as emissões diretas de CO₂ têm o potencial de redução entre 4 a 18 kg CO₂/t clínquer e as indiretas entre 0 a 0,7 kg CO₂/t clínquer. Ainda segundo (CSI/ECRA, 2009), os principais parâmetros influenciadores são o *status* inicial da planta, a instrumentação, a educação do *staff* e a intensidade de CO₂ dos combustíveis.

Os custos estimados para esta tecnologia estão apresentados na Tabela 33.

Tabela 33: Custos estimados para o sistema de controle e otimização da produção de clínquer

Custo estimado ⁽¹⁾	Novas plantas		Retrofit	
	Investimento ⁽²⁾ (milhão €)	Operacional ⁽³⁾ (€/ t clínquer)	Investimento (milhão €)	Operacional (€/ t clínquer)
2015 a 2050	0,25 a 0,35	0,22 a 0,63	0,25 a 0,35	0,27 a 0,74

Fonte: CSI/ECRA (2009).

- ⁽¹⁾ O custo estimado é baseado na capacidade de produção de clínquer de 2 milhões de tonelada por dia.
- ⁽²⁾ Os custos de investimento podem variar significativamente, de acordo com a configuração da planta e nível de instrumentação e automação.
- ⁽³⁾ Depreciação, inflação e taxa de juros não estão incluídas nos custos operacionais.

2.2.3.3 REFRAATÁRIO NO FORNO DE CLINQUERIZAÇÃO PARA REDUÇÃO DE PERDA DE CALOR

A perda de calor pode se dar através do casco do forno, especialmente na zona de queima. Assim, a utilização de melhores isolantes refratários, reduz este efeito indesejável. A escolha do refratário é função da qualidade do isolamento e da habilidade de desenvolver e manter um revestimento (Worrell, Price, Neelis, Galitsky, & Nan, 2008).

O uso de melhores refratários pode levar ao aumento da confiabilidade do forno e reduzir o tempo de parada, o que também leva à redução dos custos de produção e da energia requerida no *start-up* (Worrell, Price, Neelis, Galitsky, & Nan, 2008).

De acordo com (IIP, 2015) a redução no consumo de combustível é estimada em 0,12 a 0,4 GJ/t clínquer, com um potencial de redução de emissão de CO₂, na China, entre 11 a 38 kg/t clínquer. Em relação aos custos, ainda segundo IIP (2014), o valor estimado é de aproximadamente US\$ 0,25/ ano.t clínquer.

2.2.3.4 MODIFICAÇÃO NOS PRAQUECEDORES

Como já mencionado, os ciclones com múltiplos estágios de preaquecimento são os principais componentes para a troca de calor entre o gás e a farinha crua no processo de combustão do clínquer. No entanto, a perda de pressão dos preaquecedores aumenta com o número de estágios do ciclone.

Assim, a instalação de ciclones com menor queda de pressão, reduz o consumo elétrico do sistema de ventilação dos gases de exaustão (IIP, 2014; CSI/ECRA, 2009; WORRELL, 2008).

A redução da queda de pressão é atingida por otimização geométrica do ciclone com separação quase constante da alimentação do forno. Segundo CSI/ECRA (2009), para cada hPa¹⁶ de redução de perda de pressão, 0,12 a 0,15 kWh/ t clínquer de energia elétrica pode ser economizada, o que vai depender da eficiência do sistema de ventilação. Para a maioria dos fornos antigos existentes, a quantidade economizada está entre 0,6 e 1,5 kWh/ t clínquer e, para IIP (2014), a economia de eletricidade está entre 0,7 a 4,4 kWh/ t clínquer, com um potencial de redução de emissão de 0,5 a 3,5 kg/ clínquer.

A instalação destes ciclones pode ser cara, já que esta implica em reconstrução ou modificação da torre de preaquecimento e os custos são específicos de acordo com cada planta. De acordo com Worrell e Galitsky (2008), o custo para este sistema é de US\$ 2,7/ ano. t clínquer. E para IPP (2014) o custo é de US\$ 3/ ano. t clínquer.

2.2.3.5 GASIFICAÇÃO DE PNEUS

A indústria cimenteira japonesa solucionou o problema da disposição ilegal dos pneus usados, utilizando-os como um combustível substituto desde a década de 80 (APP, 2008)¹⁷. Estes pneus usados podem ser gasificados como estiverem ou depois da trituração (APP, 2008). No forno de gasificação, eles são aquecidos e o gás produzido pela sua decomposição térmica pode ser usado no forno ou no calcinador como um combustível substituto (IIP, 2015; APP, 2008).

A gasificação soluciona o problema tal como a não uniformidade dos componentes atribuídos à mistura excessiva de aço, que faz parte dos pneus. O aço e outros componentes incombustíveis são retirados do sistema (APP, 2008).

De acordo com APP (2008), a energia térmica a partir dos resíduos dos pneus é de aproximadamente 25 a 29 MJ/kg. Combustíveis fósseis, para a mesma quantidade de calor, podem ser economizados. Os custos foram estimados para um sistema de 7000 toneladas/ano e resultou em cerca de US\$ 1,8 milhões.

2.2.3.6 MATÉRIA-PRIMA NÃO CARBONATADA PARA A PRODUÇÃO DE CIMENTO

Este projeto foi criado por Nanning Shizuo Building Materials CO Ltd., na China, e utiliza fontes de cálcio não carbonatadas (carboneto de escória) para substituir parcialmente o calcário como matéria-

¹⁶ Unidade de pressão. Hectopascal, equivalente a 100 Pa.

¹⁷ Ressalta-se, entretanto, que tal tecnologia vem sendo muito pouco utilizada, visto que a própria indústria vem coprocessando pneus, sem haver necessidade de gaseificação.

prima para a produção de cimento (CDM, 2009). Carboneto de escória (*carbide slag*) é um resíduo sólido gerado na produção industrial de etino, PVC, polietileno, álcool e outros (CDM, 2009). Este resíduo é poluente para o meio ambiente especialmente para a água. No entanto, ainda não há disposição adequada para este resíduo, assim ele é depositado em aterros (CDM, 2009).

Na produção convencional de cimento, o calcário é descarbonizado na calcinação, produzindo CaO e CO₂, reação principal para emissão de CO₂ durante a produção de clínquer. A maior parte do carboneto de escória é composto por Ca(OH)₂ e produz CaO e H₂O, sem emissão de CO₂, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e melhorando a eficiência energética comparado com o cenário *business-as-usual* (CDM, 2009).

Em algumas plantas chinesas, esta escória foi utilizada como matéria-prima alternativa para a produção de cimento, tornando-se 68% da alimentação do forno, em massa crua (IIP, 2014). A utilização deste resíduo requer seu pré-tratamento por secagem e moagem e mistura com o restante das matérias-primas (como arenito, argila, calcário e etc). Após este tratamento, segue-se o fluxo convencional do processo (IIP, 2014).

Segundo (CDM, 2009), esta tecnologia gera um potencial de redução das emissões de 184,13 t CO₂e com um custo de investimento total de US\$ 4,3 milhões, para uma planta com capacidade anual de 372 mil t de clínquer e 473.400 t de cimento.

2.2.3.7 ELEVADORES DE CANECA PARA ALIMENTAÇÃO DO FORNO

Os sistemas de transporte mecânico e pneumático são usados pelas plantas de cimento para transportar a alimentação ao forno, poeira do forno, cimento acabado e combustível (IIP, 2015).

Plantas novas devem estar disponíveis para usar esteiras mecânicas a menos que o projeto impeça a sua utilização ou faça do sistema pneumático uma escolha mais viável. Para as plantas já existentes, a conversão do sistema pneumático para mecânico pode ser rentável devido ao aumento de confiabilidade e tempo reduzido de parada (Worrell e Galitsky, 2008).

De acordo com HOLLINGSHEAD e VENTA (2009), a substituição por sistema mecânico pode economizar 2,9 kWh/t cimento, com um custo de instalação estimado em US\$ 4,1/t cimento. A instalação da esteira rolante (*belt conveyor*) e elevador de canecas (*bucket elevator*) resulta num custo de investimento de US\$ 3,43/t cimento e reduz o custo de operação para US\$ 0,17/t cimento. Ademais, o consumo elétrico pode ser reduzido em 2,5 kWh/ t cimento (Worrell e Galitsky, 2008).

2.2.3.8 MOINHOS DE ROLOS VERTICAIS PARA MOAGEM

A moagem de cimento representa quase 40% da energia elétrica utilizada na produção de cimento. Os moinhos de bolas (*ball mills*) representam quase 60% de todos os moinhos numa planta de cimento,

seguido dos moinhos de rolos verticais (*vertical roller mills*) e prensa de rolos (*roller presses*), cada um com 17%, além de os moinhos horizontais (*horizontal mills*) com 7% (ZKG, 2010; CSI/ECRA, 2009).

A escolha de cada moinho deve levar em consideração o fato de que a matéria-prima, o carvão, o clínquer e a escória possuem diferentes moabilidades, tamanho de partículas e teor de umidade, exigindo diferentes fluxos, índices de finura¹⁸, e outros parâmetros de qualidade. Cada tipo de moinho, e seu processo de moagem associado, é mais adequado para algumas aplicações do que para outras, não existindo um moedor universal. Ao invés disto, há uma combinação de processos ou, certos tipos de moinho dominam uma determinada aplicação. Quanto maior a pressão durante a moagem, menor será a distribuição de tamanhos das partículas e maior será o impacto na demanda de água e no tempo de pega¹⁹ do cimento (ZKG, 2010).

Além de o aumento da produtividade, uma redução significativa da demanda específica de energia para a moagem de cimento pode ocorrer combinando a moagem em moinhos de rolos verticais ou moinhos de alta pressão com os moinhos de bolas, ou até por uma substituição completa destes últimos. O consumo de energia específico dos moinhos de bolas varia de 30 a 42 kWh/t clínquer, dependendo da finura do cimento (IIP, 2015).

Ainda há a necessidade de desenvolver tecnologias de moagem, no entanto, combinando os diferentes tipos de moagens, não ocorrem problemas na qualidade do produto. Esta configuração com múltiplos estágios é mais complexa de operar (CSI/ECRA, 2009).

Segundo (IPP, 2015), a economia de energia pela substituição do moinho de bolas pelos moinhos de rolo vertical pode variar entre 20 a 30% e é função principalmente da granulometria do produto. O consumo elétrico pode ser reduzido para 10 a 20 kWh/t cimento.

2.2.3.9 VENTILADORES DE ALTA EFICIÊNCIA PARA PREAQUECEDORES

Ventiladores com baixa eficiência, energointensivos, podem ser substituídos por ventiladores com alta eficiência resultando em economia de eletricidade. Segundo IPP (2014), a eletricidade pode ser economizada em 0,7 kWh/t clínquer. Na Índia foi reportada uma economia entre 0,3 a 0,5 kWh/t clínquer, dependendo do tempo de uso do ventilador já existente. O potencial de redução das emissões de CO₂ é de 0,55 a 0,57 kg CO₂/ t clínquer. O custo de capital foi de US\$ 0,01/t clínquer.ano.

¹⁸ A finura do cimento é uma noção relacionada com o tamanho dos grãos do produto. É definida de duas maneiras: pelo tamanho máximo do grão, quando as especificações estabelecem uma proporção em peso do material retido na operação de peneiramento em malha de abertura definida, e pelo valor da superfície específica (soma das superfícies dos grãos contidos em um grama de cimento) (SIQUEIRA, 2008).

¹⁹ Definido como o momento em que a pasta adquire certa consistência que a torna imprópria a um trabalho. Corresponde à evolução das propriedades mecânicas da pasta no início do processo de endurecimento, consequente a um processo químico de hidratação (SIQUEIRA, 2008).

2.2.3.10 PRENSA DE ROLOS DE ALTA PRESSÃO

Nesta tecnologia, duas prensas de rolos pressurizam o material até 3500 bar, aumentando significativamente a eficiência da moagem e reduzindo o consumo energético. Estas prensas são usadas para ampliar a capacidade dos moinhos já existentes e são encontradas especialmente em países com alto custo de eletricidade ou países com pouca fonte de eletricidade.

O consumo elétrico pode ser reduzido para 10 a 24 kWh/ t cimento. Na Índia, foi reportada uma economia de 7 a 15 kWh/ t cimento (IPP, 2014). Na China, uma planta de 5.000 t cimento/ dia reduziu seu consumo elétrico para 8 a 10 kWh/t cimento, com a substituição do moinho de bolas para a prensa de rolos de alta pressão (IPP, 2014). Em relação às emissões, na China, o potencial de redução é de 7,9 a 19 kg CO₂/ t cimento e, na Índia, para 8,1 a 19,4 kgCO₂/ t cimento (IPP, 2014). O custo de investimento foi estimado entre US\$ 2,5 a 8/t cimento.ano (IPP, 2014).

2.2.3.11 INVERSORES DE FREQUÊNCIA PARA RESFRIADORES DE CLÍNQUER

Na maioria das plantas, a quantidade de ar para arrefecimento deve ser ajustada dependendo da sua demanda. Os amortecedores podem controlar este fluxo de ar do ventilador para o refrigerador. Apesar desta vantagem, eles oferecem um controle do fluxo ineficiente, já que o ventilador continua a operar a plena carga. Assim, um inversor de frequência pode ajustar a velocidade do ventilador, economizando grande quantidade de energia (CDM, 2008).

Segundo IPP (2014), o potencial de economia de energia foi estimado entre 0,04 a 0,17 kWh/t clínquer. E, o custo de implementação desta tecnologia está em torno de US\$ 0,01/ t clínquer.ano.

2.2.3.12 USO DE MINERALIZADORES PARA REDUÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Alguns componentes contidos na matéria-prima ou que são adicionados a ela para produzir o clínquer, apresentam uma importante influência no comportamento da queima. Certas substâncias atuam como fundentes e diminuem a temperatura de fusão do clínquer, como os mineralizadores, que promovem a formação do clínquer sem participar das reações de formação. Já os fluoretos são substâncias que promovem a formação do silicato tricálcico²⁰.

A utilização dos mineralizadores reduz a demanda de energia do combustível, já que eles reduzem a temperatura de fusão do clínquer. Para um forno moderno, foi estimado que a redução de 200K da temperatura de fusão resulta numa economia de energia de mais de 5%.

²⁰ Composto químico do clínquer, que, juntamente com outros, trazem acentuada característica de ligante hidráulico e estão diretamente relacionados com a resistência mecânica do material após a hidratação.

O potencial de economia desta medida é limitado, uma vez que a adição de pequenas quantidades de mineralizadores aumenta a qualidade do produto, mas grandes quantidades afetam a qualidade e a operação do forno. De acordo com (CSI/ECRA, 2009), a energia térmica pode ter uma redução de 50 a 180 MJ/ t clínquer e a elétrica pode apresentar um aumento de 0 a 1 kWh/ t clínquer. O potencial de redução das emissões de CO₂ é de 5 a 16 kg CO₂/ t clínquer.

Esta tecnologia reduz o custo operacional entre 0,06 a 0,43 €/ t clínquer. Este custo inclui a economia de combustível e um consumo adicional de eletricidade. O preço de mercado dos mineralizadores não foi determinado e não é requerido investimento significativo para esta tecnologia (CSI/ECRA, 2009).

2.2.3.13 PREAQUECEDOR COM ALTA TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Este sistema promove uma alta taxa de transferência de calor sólido-gás com duas séries de correntes de ar em paralelo, fazendo com que esta taxa dobre ou mais para cada preaquecedor, assim o consumo de calor da produção de clínquer tende a ser próximo do consumo térmico teórico. Este sistema é combinado com cinco ciclones e o gás flui uniformemente através destes, que possuem duas séries paralelas de ar, assim, a taxa sólido-gás do preaquecedor dobra, o que aumenta a eficiência da troca de calor do sistema, reduzindo a temperatura do gás de exaustão na saída do preaquecedor (IPP, 2015).

Outro sistema denominado “*External Circulation Calciner*”, com alta taxa de sólido-gás, adota um *bypass*, em que certas quantidades de materiais sólidos que saem do calcinador retornam para este, assim, as partículas com calcinação insuficiente continuam a calcinar repetidamente no forno, aumentando a taxa de calcinação do material que sai do calcinador, reduzindo a carga térmica do forno rotativo, aumentando significativamente a produção do forno por unidade de volume, o que reforça a estabilidade térmica do pré-calcinador e reduz a emissão de gases nocivos (IPP, 2014).

Segundo (IPP, 2015), o consumo de energia térmica da produção de clínquer pode ser reduzido em 2.85 GJ/ t clínquer, economizando 14,3 kg de carvão por tonelada de clínquer (no caso da China). Foi reportada uma redução anual de 571,5 TJ de consumo energético em uma planta da China, com capacidade de 2500 toneladas por dia de clínquer. O custo de investimento desta tecnologia para esta mesma planta chinesa foi de US\$ 5,11 milhões, com uma redução de US\$ 5,04 milhões devido à economia de energia.

2.2.3.14 RECUPERAÇÃO DE CALOR PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os gases de saída do forno, do sistema de arrefecimento do clínquer e do sistema de preaquecimento contêm energia útil que pode ser convertida em eletricidade. Apenas em fornos para processo via seca, a temperatura do exaustor é suficientemente alta para recuperar o calor e transformá-lo em eletricidade de uma maneira custo-efetiva (WORRELL e GALITSKY, 2008).

O sistema de cogeração pode ter turbinas a gás que utilizam o calor residual (*top cycle*) ou podem ter a instalação de uma caldeira de calor residual com um sistema de turbina a vapor (*bottom cycle*). No entanto, esta última é a mais utilizada em plantas internacionais e já provaram sua economicidade (WORRELL e GALITSKY, 2008).

O calor residual dos fornos de cimento é usualmente utilizado para secagem da matéria-prima. Dependendo da umidade destas e da tecnologia de arrefecimento, há ainda calor residual adicional proveniente dos fornos e do refrigerador. Este calor pode então ser utilizado para secar outros materiais como escória ou combustíveis secundários ou então para produção de vapor e eletricidade. Esta tecnologia tem aplicação limitada para plantas com matéria-prima com alto teor de umidade, já que a secagem desta é o mais importante na planta de cimento (CIS/ECRA, 2009).

De acordo com CSI/ECRA (2009), esta tecnologia pode produzir entre 8 a 22 kWh/t clínquer sem mudança na operação do forno e 45 kWh/t clínquer, com mudanças, como por exemplo menos estágios de ciclones. O potencial de redução das emissões de CO₂ é de 4 a 15 kg CO₂/ t clínquer. Uma usina instalada numa planta indiana (4500 toneladas por dia de clínquer) com capacidade de 8 MW, reduziu as emissões de CO₂ em 45.000 t/dia (IPP, 2014). Na China, para uma planta com capacidade 2000 t/dia, 20 kWh/t clínquer de eletricidade foi gerada, com um custo de investimento de US\$ 3,1 a 4,7 milhões (IPP, 2014).

2.2.3.15 MELHORIAS NO SISTEMA DE COMBUSTÃO

A combustão do combustível pode levar a ineficiências no forno como queima mal ajustada, queima incompleta com formação de CO e combustão com excesso de ar. Melhorias no sistema de combustão otimizam a chama, a mistura do ar/combustível e reduzem a quantidade de ar em excesso (WORRELL e -et al, 2008).

A tecnologia *Gyro-Therm* melhora a qualidade da chama do gás enquanto reduz as emissões de NOx (óxidos de nitrogênio) (FCT, 2014). Esta foi desenvolvida na *University of Adelaide*, Austrália, e pode ser aplicada a queimadores a gás ou gás/carvão (WORRELL e GALITSKY, 2008). O queimador *Gyro-Therm* utiliza a tecnologia patenteada “*precessing jet*”, em que o desenho do bocal produz um jato com um efeito giroscópico. Este movimento produz uma mistura em larga escala em que o ar é engolido pelo combustível sem utilizar gás de alta velocidade ou jatos de ar (FCT, 2014).

Além de reduzir o consumo energético, reduz a emissão de NOx entre 30 a 70% e aumenta a produtividade em 5%. Atinge-se uma economia específica de combustível de 8% em plantas com a tecnologia *Gyro-Therm*. Os custos foram estimados em US\$ 1,0/t clínquer.ano (WORRELL e GALITSKY, 2008).

2.2.3.16 REFRIGERADORES DE GRELHA DE ALTA EFICIÊNCIA

Refrigeradores de grelha (*grate cooler*) são usados para resfriar o clínquer imediatamente após sua saída do forno. Estes são parte integrante da recuperação de calor do clínquer, assim, refrigeradores de grelha que operam com alta eficiência levarão a um menor desperdício de calor e reduzirá o uso de combustível no processo (WORRELL e GALITSKY, 2008).

O resfriamento também influencia a qualidade do clínquer, pois, ao resfriar rapidamente, consegue-se manter a estrutura cristalográfica desejada para obtenção da resistência mecânica e estabilidade química necessária ao cimento (SILVA, 2013).

Há três tipos de resfriadores: satélite ou planetário, rotativo e de grelha. O mais moderno é o de grelha e vem substituindo os outros dois modelos (SILVA, 2013). Ambos os modelos mais antigos utilizam a quantidade exata de ar para o resfriamento do clínquer, que é necessário à combustão. Isto leva a temperaturas do clínquer mais altas (entre 120 a 200°C acima da temperatura ambiente), comparado com os resfriadores de grelha (60 a 80°C acima da temperatura ambiente). Uma corrente de ar de exaustão também é produzida e é utilizada para secagem ou produção de eletricidade (EPA, 2010; CSI/ECRA, 2009; WORRELL e GALITSKY, 2008).

A maior vantagem do resfriador de grelha é o fato de que este é ideal para grandes produções, por ter capacidade de produção de até 12.000 tpd, comparado com 4.000 tpd das outras grelhas, além de ter maior eficiência na recuperação de calor (CSI/ECRA, 2009).

A substituição de um refrigerador planetário para um de grelha pode reduzir o consumo de combustível em 8%, apesar do aumento do consumo de eletricidade em 2,5 kWh/t cimento. No entanto, o custo para a obtenção deste é proibitivo para capacidades menores que 550 t/dia (WORRELL e GALITSKY, 2008).

Estes resfriadores são os mais indicados para forno com pré-calcinador, pois permite que o ar aquecido (terciário) seja enviado para a câmara de combustão do pré-calcinador, diferente do planetário, que não permite essa alternativa. A conversão para um resfriador de grelha pode ser mais econômica para plantas que têm ou terão um pré-calcinador (WORRELL e GALITSKY, 2008).

De acordo com CIS/ECRA (2009), esta tecnologia permite uma redução de energia térmica entre 100 a 300 MJ/ t clínquer e um aumento de energia elétrica entre 1 a 6 kWh/ t clínquer. Para este mesmo estudo, o potencial de redução de emissão direta de CO₂ é de 9 a 28 kg CO₂/ t clínquer e de emissões indiretas de 1 a 3 kg CO₂/ t clínquer.

Os custos para converter um resfriador planetário para um de grelha de última geração em uma planta com capacidade de 6000 t/dia foram estimados em € 15 a 20 milhões. O *retrofit* de um refrigerador de grelha antigo demanda um custo entre € 1 a 3 milhões. Para Worrell e Galitsky (2008), o custo da conversão para um *grate cooler* é estimado em US\$ 0,44 e US\$ 5,5/t clínquer.ano, dependendo do

grau de reconstrução necessário. Os custos de operação anuais podem aumentar em US\$ 0,11/ t clínquer.

2.2.3.17 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEL

Combustíveis derivados de resíduos podem ser usados para substituir combustíveis fósseis, oferecendo também uma alternativa melhor de gestão de resíduos, já que as temperaturas e tempos de retenção destes no forno de cimento são altos o suficiente para eliminar os problemas relacionados com as emissões de compostos como dioxinas e furanos (APP, 2008).

A fim de serem efetivamente usados como combustíveis alternativos, os resíduos precisam ser coletados e separados por tamanho. Dependendo da característica do resíduo, este pode ser alimentado no forno ou no calcinador. É importante destacar que certos constituintes, como o cloro, devem ser controlados para evitar impactos negativos na qualidade do produto e no processo de produção do cimento (APP, 2008).

De acordo com APP (2008), para cada tonelada de resíduo, há uma economia de 15 a 19 GJ de combustível fóssil, além de uma redução das emissões de CO₂ devido à redução do uso de combustíveis fósseis. Em relação aos custos, no Japão, o custo de instalação para plantas que processam 10 t/dia de resíduos é de aproximadamente US\$ 650 mil.

2.2.3.18 ADIÇÃO DE POZOLANA AO CIMENTO

A adição de pozolana reduz a quantidade de clínquer no cimento, assim as emissões de CO₂ proveniente da combustão e da calcinação são reduzidas. Existem dois tipos de pozolanas: as naturais e as calcinadas. As primeiras têm origem em materiais vulcânicos ou em rochas sedimentares com adequada composição química e mineralógica (por exemplo, pedra-pome). As segundas têm origem em material vulcânico, argila, rochas sedimentares, ativadas por tratamento térmico (CIS/ECRA, 2009).

Pozolanas são materiais siliciosos ou silico-aluminosos, com alto teor de sílica reativa (SiO₂), que, na presença de água e temperatura ambiente, reage com hidróxido de cálcio formando silicatos de cálcio. Sua adição ao cimento só é possível se a quantidade de dióxido de sílica reativa for maior ou igual a 25% em massa. Metacaulim é um exemplo conhecido de pozolana calcinada (CIS/ECRA, 2009).

A produção do cimento com pozolana envolve seu pré-tratamento como secagem, moagem e mistura ao clínquer. O consumo elétrico é menor devido a melhor moabilidade da maioria das pozolanas, se comparado ao clínquer substituído. O consumo térmico da produção de cimento se reduz quase linearmente com o aumento da proporção de pozolana. Já para a produção da pozolana calcinada, há uma maior demanda de energia para a sua calcinação (CIS/ECRA, 2009).

De acordo com CIS/ECRA (2009), a energia térmica se reduz entre 0 a 600 MJ/ t cimento e a elétrica se reduz entre 0 a 25 kWh/t cimento. É possível uma redução das emissões de 0,52 tonelada de CO₂

por tonelada de clínquer substituído por pozolana. O custo de investimento para *retrofit* foi estimado entre € 8 a 12 milhões. O custo de capital está relacionado à capacidade de armazenamento extra para a pozolana e os cimentos, bem como o equipamento técnico para o manuseio e secagem da pozolana.

2.2.3.19 MOAGEM DE CIMENTO COM HOROMILL

O conceito desta tecnologia Horomill foi demonstrado na Itália, em 1993 e consiste num rolo horizontal dentro de um cilindro. A força centrífuga resultante do movimento do cilindro promove uma distribuição uniforme de uma camada dentro do cilindro. A camada então passa pelo rolo com uma pressão entre 700 a 1000 bar e o produto acabado é coletado num filtro de poeira (WORRELL e GALITSKY, 2008).

Horomill é um moinho compacto que produz um produto acabado em um só estágio e com um custo de capital relativamente baixo. O consumo elétrico pode ser reduzido entre 10 a 25 kWh/ t cimento e as emissões, na China, foram reduzidas em 7,9 a 19,8 kg CO₂/ t cimento e, na Índia, entre 8,1 a 20,3 kg CO₂/ t cimento (WORRELL e GALITSKY, 2008).

2.2.3.20 MOTORES DE ALTA EFICIÊNCIA

Uma planta típica de cimento utiliza entre 500 a 700 motores de diferentes tamanhos para mover ventiladores, forno rotatório, transportar o material e para a moagem. Motores de alta eficiência reduzem a demanda de eletricidade na planta. Se a substituição não influenciar a operação do processo, os motores devem ser substituídos a todo o momento (WORRELL e GALITSKY, 2008).

Esta tecnologia leva a uma economia de eletricidade entre 3 a 8%. Para uma planta de 5000 tpd, a substituição de todos os motores do sistema de ventilação apresenta um custo de US\$ 0,22/t cimento.ano (WORRELL e GALITSKY, 2008).

Em Davenport, Califórnia, substituindo treze motores de alta eficiência levou a uma economia de 2,1 MWh de eletricidade por ano. Os custos com energia foram reduzidos em US\$ 168 mil/ano e os custos com manutenção em US\$ 30 mil/ano. O custo de implementação foi de US\$ 134 mil (WORRELL e GALITSKY, 2008).

2.2.3.21 SUBSTITUIÇÃO DE FORNOS VERTICAIS

Uma importante medida de eficiência energética é a substituição dos fornos verticais, mais comumente utilizados na China, para um sistema mais moderno e eficiente com preaquecedores e pré-calcinadores (WORRELL e GALITSKY, 2008).

Uma economia de até 2,4 GJ/t clínquer pode ser obtida e as emissões podem ser reduzidas em 227 kg CO₂/ t clínquer. Os custos da conversão dos fornos verticais para o sistema com preaquecedores e pré-calcinadores podem variar entre US\$ 28 a 41/ t clínquer.ano (WORRELL e GALITSKY, 2008).

2.2.3.22 VEDAÇÃO ADEQUADA

Selos são utilizados no forno para reduzir a entrada de ar. Vazamentos no forno podem afetar a eficiência da combustão e levar a perdas de calor. Estes vazamentos podem ser controlados com a implantação de selos apropriados, como selos pneumáticos, de mola ou *lamella*. Apesar de os selos durarem entre 10 mil a 20 mil horas, é necessária a sua fiscalização para reduzir um possível vazamento (WORRELL e GALITSKY, 2008).

Em uma planta japonesa, o vazamento de ar no forno reduziu-se em 160 Nm³/min, resultando em uma economia de energia de 0,042 MJ/t clínquer. Para uma planta de 5.000 tpd, o custo da implantação desta tecnologia foi de US\$ 50 mil (APP, 2008).

2.2.3.23 RESÍDUOS DE ÓLEOS COMO COMBUSTÍVEL

Japão iniciou a utilização de resíduos de óleo como combustível em 1985, como forma de substituir os combustíveis fósseis. Os resíduos são levados em caminhões até a planta e são armazenados em tanques. A seguir, estes são colocados no forno ou no calcinador por uma bomba (APP, 2008).

Para cada tonelada de resíduo de óleo utilizado, há uma economia de 21,6 GJ de combustíveis fósseis e de 2,04 t CO₂, na China, e de 1,68 t CO₂, nos EUA. No Japão, o custo de instalação para armazenamento e processamento de 10 mil t/ ano é de aproximadamente US\$ 730 mil (APP, 2008).

2.2.3.24 ADIÇÃO DE CALCÁRIO AO CIMENTO

Uma maneira simples e eficiente de reduzir a taxa clínquer/cimento é moer calcário com clínquer para produzir cimento. Esta substituição do clínquer pelo calcário reduz as emissões de CO₂ da calcinação do calcário, causada pela produção de clínquer. A adição de até 5% de calcário não apresentou impactos negativos na qualidade do cimento. Em diversos países é, inclusive, permitida a adição de até 35% de calcário no cimento) (CIS/ECRA, 2009). Sua quantidade no cimento é decisiva para a resistência da pasta a ácidos e sulfatos, e a congelamento, descongelamento (CIS/ECRA, 2009).

Para um cimento com 25 a 35% de massa de calcário, a demanda de energia térmica reduz-se entre 0,22 a 0,60 GJ/ t cimento. A energia elétrica também é reduzida entre 12 a 23 kWh/t cimento. Para este mesmo cimento, as emissões diretas de CO₂ podem ser reduzidas entre 50 a 140 t CO₂/ t cimento e as indiretas entre 6 a 16 kg CO₂/t cimento. Os custos foram estimados entre € 8 a 12 milhões e são relacionados a um custo de capital extra para armazenamento dos outros componentes, para os novos cimentos e para o equipamento técnico para secar estes componentes (CIS/ECRA, 2009).

2.2.3.25 SILO GRAVITACIONAL PARA HOMOGENEIZAÇÃO

Para se obter um produto de alta qualidade e manter uma combustão ótima e eficiente no forno, é crucial que a farinha crua esteja completamente homogeneizada (WORRELL e GALITSKY, 2008). A maioria das plantas usa ar comprimido para agitar a farinha nos silos de homogeneização de ar fluidizado. Algumas plantas, com processos antigos, usam sistemas mecânicos com retirada simultânea de material de 6 a 8 silos, a taxas variáveis (FUJIMOTO, 1993).

Plantas modernas usam silos do tipo gravitacional para reduzir o consumo de energia elétrica. Nestes silos, o material afunila para baixo onde é misturado em um cone invertido. Este tipo de silo pode não fornecer a mesma eficiência de homogeneização que os sistemas com ar fluidizado, embora cada vez mais plantas estejam substituindo seus sistemas mecânicos ou de ar fluidizado pelo silo gravitacional (HOLDERBANK, 1993).

A economia de energia para este processo é estimada entre 1 a 2,5 kWh/t farinha crua processada. Na China, para cada tonelada de matéria-prima processada, 0,8 a 2,5 kg de CO₂ pode ser economizada e, na Índia, a quantidade varia entre 0,8 a 2 kg de CO₂. Os custos para o *retrofitting* é estimado em US\$ 3,7/ t matéria-prima (IIP, 2015).

2.2.3.26 SEPARADORES DE ALTA EFICIÊNCIA/CLASSIFICADORES PARA MOAGEM DO CARVÃO

Separadores e classificadores enviam partículas maiores de volta para a moagem. Os separadores ou classificadores com alta eficiência separam as partículas maiores com mais precisão, reduzindo o excesso de moagem e, conseqüentemente, reduzindo o consumo de energia do moinho (IIP, 2015).

Substituindo o separador externo por moinho de bolas com separadores externos mais eficientes, o consumo de energia da usina pode ser reduzido, e a capacidade da fábrica aumentada (IIP, 2014).

Esta tecnologia pode economizar 1,7 kWh de eletricidade por tonelada de carvão processado. Na China, as emissões foram reduzidas em 1,3 kg CO₂/t carvão. Os custos de instalação foram estimados em US\$ 0,01/t clínquer.ano (IIP, 2015).

2.2.3.27 FORNOS EFICIENTES

Uma quantidade substancial de energia é utilizada para rodar o forno. O uso de motores de corrente alternada (AC) tem mais vantagens que os de corrente contínua (DC) tradicionalmente utilizados. O sistema de motor AC resulta em ganhos de eficiência ligeiramente superior (0,5 a 1% de redução de energia elétrica no forno) e tem menores custos de investimento (HOLLAND, 2001). Esta tecnologia resulta em uma economia de eletricidade entre 0,55 a 3,9 kWh/ t clínquer (WORRELL e GALITSKY, 2008).

2.2.3.28 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Este item inclui treinamento de pessoal para estar atento ao consumo de energia e eficiência. Enquanto diversos processos na produção do cimento são automatizados, ainda há oportunidades que requerem treinamento de empregados para aumentar a economia de energia (WORRELL e GALITSKY, 2008).

Manutenção preventiva garante que os equipamentos e outras infraestruturas estejam em boas condições para atingir resultados ideais. Além de economizar energia, esta ação aumenta a capacidade de utilização. Manutenção dos refratários do forno ou redução de ar no forno são áreas típicas onde a manutenção preventiva pode atuar (WORRELL e GALITSKY, 2008).

A economia de energia típica devido esta ação é de 3 kWh/t clínquer. Os custos para implantação são baixos, resultando em um *payback* de menos de um ano (WORRELL e GALITSKY, 2008).

2.2.3.29 VARIADORES DE VELOCIDADE

Motores elétricos são os maiores consumidores de eletricidade numa planta de cimento, com alta necessidade de controle de fluxo. Motores são usados para ventiladores, fornos rotatórios, transporte de material e para moagem. A maior eficiência energética para os motores é a utilização de variadores de velocidade (CSI/ECRA, 2009).

A economia de energia desta tecnologia pode variar entre 7 a 60% dependendo do fluxo padrão do equipamento (CSI/ECRA, 2009). Em uma planta no Canadá, a implantação de variadores de velocidade resultou em uma economia de 6 kWh/t cimento (IPP, 2014). Os custos são estimados em US\$ 0,9 a 1,0/cimento.ao ano (CSI/ECRA, 2009).

2.2.3.30 CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE CARBONO (CCS)

A tecnologia *carbon capture and storage* (CCS) é uma das mais promissoras para a mitigação de mudanças climáticas (ARASTO et al., 2013; TSAI et al., 2013; VATOPOULOS e TZIMAS, 2012; UNIDO, 2010). A maioria dos estudos do potencial de aplicação desta tecnologia focou no setor de energia, especialmente em termelétricas a carvão. No entanto, todas as demonstrações operacionais em larga escala de CCS são em aplicações industriais (IEA/UNIDO, 2011).

Entre as rotas analisadas no estudo desenvolvido para o MCTI (“Opções de Mitigação de Setores-Chave da Economia Brasileira”),²¹ a única disponível comercialmente para as plantas cimenteiras existentes no Brasil é a rota de pós-combustão com absorção química.

²¹ BRASIL (2017b).

Os dados das fábricas de cimento no Brasil e suas respectivas localizações, grupos industriais e ano de construção foram obtidos de SNIC (2012). A partir do ano de construção, foram atribuídos os fatores de emissão em tonelada de CO₂ por tonelada de clínquer, de acordo com a idade da planta, segundo estudos do *Cement Sustainability Initiative* (CSI, 2012). A produção de cimento de cada planta foi obtida do SNIC (2012) e, partir deste dado, foi calculada a produção de clínquer pela razão clínquer/cimento média de 82% (IEA, 2007).

O vapor e a eletricidade necessários à planta de captura de carbono podem ser gerados a partir de uma planta de cogeração a gás natural (GN) ou coque, ou uma caldeira poderia gerar o vapor e a eletricidade ser comprada do grid. Portanto, foram simulados quatro sistemas alternativos para captura de carbono, como pode ser visto na Tabela 34. A cogeração foi dimensionada para paridade elétrica, sem gerar excedentes.

Tabela 34: Tipo de combustíveis e geração de vapor e/ou eletricidade consideradas no estudo

Geração	Combustível
Caldeira ⁽¹⁾	GN (A) ou Coque (B)
Cogeração (CHP) ⁽²⁾	GN (C) ou Coque (D)

(1) Neste caso a caldeira só gera o vapor e a eletricidade será comprada do grid.

(2) Combined heat-and-power.

A Tabela 35 resume os custos de abatimento para as quatro opções consideradas, os quais incluem os custos fixos e variáveis e investimento da captura e das respectivas opções de geração de vapor e/ou eletricidade, assim como o custo da eletricidade comprada do grid, no caso das opções de uso da caldeira. Os custos foram calculados com uma taxa de desconto de 10% a.a., tempo de vida útil de 30 anos, preço de gás natural de 0,46 US\$/m³ (BEN, 2012), preço de coque de petróleo de 550 US\$/t (BEN, 2012) e preço da eletricidade industrial de 165 US\$/ MWh (BEN, 2012). As simulações na ferramenta IECM foram realizadas a partir de um teor de 19% v/v de CO₂ no exaustor e a análise elementar do carvão assumida pode ser vista na tabela 6.11.

Na simulação, a caldeira a coque aparece como a opção de menor custo para gerar o vapor necessário ao *stripping* na pós-combustão, e a eletricidade seria comprada ao grid. Esta opção, para o Brasil é a mais viável economicamente, pois o fator de emissão do grid é menor do que em países da Europa, já que a maior parte da eletricidade é proveniente de hidrelétricas.

Entretanto, a Tabela 36 apresenta o *footprint* estimado para a planta de captura (incluindo as utilidades) em cimenteiras brasileiras, demonstrando que a limitação de espaço disponível pode ser uma barreira ao CCS em plantas de cimento no Brasil.

Tabela 35: Custo total relativo a opções A, B, C e D

Região	Custo (US\$/tCO ₂ evitado)			
	Cald. GN	Cald. coque	CHP coque	CHP GN
Norte	117,44	166,34	99,02	157,36
Nordeste	116,41	164,41	101,05	158,09
Sudeste	115,47	162,66	102,94	158,80
Sul	113,35	158,99	104,00	157,72
C.Oeste	114,71	161,37	103,02	158,16

Fonte: Relatório Técnico do projeto “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores Chave no Brasil”.

Tabela 36: Footprint de sistemas de captura em plantas cimenteiras por região

Região	Município	Empresa	Footprint (m ²)
Norte	Porto Velho	Votarrantim	4957
Nordeste	Fronteiras	João Santos	5112
C.Oeste	Sobradinho	Ciplan	23372
Sudeste	Volta Redonda	Votarrantim	4938
Sul	Rio Branco do Sul	Votarrantim	41009

Fonte: Relatório Técnico do projeto “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores Chave no Brasil”.

Outra barreira pode estar associada à relação demanda/disponibilidade da água. De fato, parcela relevante das plantas de cimento do Brasil já se encontra em áreas críticas para disponibilidade de água. Apenas 26% das plantas cimenteiras estariam em situação confortável/excelente em relação a este quesito. Esta questão pode ser, de fato, crítica para o caso de sistemas de captura baseados em absorção química com aminas. No limite, poder-se-ia assumir, neste caso, conservadoramente, que, em relação à disponibilidade hídrica, apenas plantas em condição excelente, confortável ou, pelo menos, preocupante, estariam aptas a instalar a captura de carbono com aminas. Isto representa cerca de 67% das plantas, o que levaria a que potencial de captura antes estimado em 5917 tCO₂/h se reduzisse para 3964 t CO₂/h.

2.2.3.31 RESUMO: PRINCIPAIS MEDIDAS DE AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Como o conjunto de medidas apresentadas para o setor de cimento é extenso, optou-se por elencar algumas medidas que merecem destaque para a o aumento da eficiência energética. A tabela abaixo resume algumas das medidas, os potenciais e custos associados ao setor de cimento.

Tabela 37: Resumo de algumas medidas de eficiência analisadas

Medida de Eficiência Energética	Redução		Investimento (USD/t anual instalada)
	Energia	CO ₂	
Queima melhorada utilizando mineralizadores	0,115 GJ/t clínquer	11,11 kgCO ₂ /t clínquer	0.4 – 2.1
Otimização de Controle e Processos	0,111 GJ/t clínquer	10,72 kgCO ₂ /t clínquer	0.4 – 1.2
Otimização da Recuperação de Calor	0,065 GJ/t clínquer	6,28 kgCO ₂ /t clínquer	0.3
Geração de Eletricidade a partir de Recuperação de Calor	25 kWh/t clínquer	3,12 kgCO ₂ /t clínquer	47 – 110
Moinhos de Alta pressão como pré-moagem para moinhos de bolas	10 kWh/t cimento	1,25 kgCO ₂ /t cimento	31
Substituição de moinhos de bolas por FPGR ou moinhos horizontais	9 kWh/t cimento	1,12 kgCO ₂ /t cimento	70
Pré-moagem com moinhos de bolas	0,8 kWh/t matéria prima	0,1 kgCO ₂ /t matéria prima	11.5
Classificadores de elevada eficiência	5 kWh/t cimento	0,62 kgCO ₂ /t matéria prima	4
Sistemas de controle especialistas na moagem final do cimento	3,5 kWh/t cimento	0,44 kgCO ₂ /t cimento	0.8
Otimização da operação da planta de cimento	2 kWh/t cimento	0,25 kgCO ₂ /t cimento	0.4
Medidas Gerais	1,2 kWh/t cimento	0,12 kgCO ₂ /t cimento	0.3
Ciclones de baixa queda de pressão nos preaquecedores	0,135 kWh/t clínquer	0,02 kgCO ₂ /t clínquer	13

Fonte: Elaboração do autor.

2.2.3.32 CONCLUSÕES

De maneira geral, o parque industrial de cimento no Brasil apresenta valores de eficiência energética altos quando comparado com o *benchmark* mundial, tanto no que tange o consumo de energia elétrica quanto térmica. Tal fato se dá, pois, o parque cimenteiro brasileiro é novo, não apresentando muita defasagem em relação às tecnologias mais avançadas. Entretanto, a adoção de algumas medidas de eficiência energética básicas como adoção de VSDs e sistemas de controle mais modernos ainda possui potencial de aplicação. A adoção de medidas disruptivas pode apresentar maiores potenciais de abatimento, mas está sempre associada à maiores barreiras e incertezas, principalmente em um parque industrial novo, onde grandes *retrofits* não são justificáveis.

É fundamental destacar que a maior parte das emissões desse setor está associada ao processo de produção de clínquer, dessa forma as medidas de mitigação de emissões que atuem nessa etapa do

processo apresentam grandes potenciais. Sendo assim, medidas que envolvem a redução da fração clínquer/cimento no processo produtivo são extremamente importantes para o setor.

Dentre as medidas apresentadas, é possível notar que a com maior capacidade de redução por unidade de clínquer produzido é de Queima melhorada. Essa medida apresenta custos baixos se comparada a outras com menor potencial de redução como uso de Ciclones de baixa queda de pressão nos preaquecedores. Sendo assim, à primeira vista, a opção de Queima melhorada, juntamente com a Otimização do sistema parecem boas opções de investimento para reduzir as emissões com custos moderados. Porém, o impacto real na indústria de cimento brasileira só pode ser observado com um estudo e modelagem aprofundada.

2.2.4 CAL

Muitas modificações foram introduzidas no processamento de fabricação da cal, buscando melhorar a sua reatividade e reduzir o consumo específico de energia (kcal/t de cal para o produto fabricado), com o uso de recuperadores de calor, fornos de dupla ou tripla cubas de calcinação, fornos de leitos fluidizados, novas espessuras e/ou tipos de refratários ou isolantes, classificação granulométrica da carga do forno, controles do ar e da temperatura, necessários à calcinação e outras (CNI, 2010).

A organização técnico-econômica permite a presença, lado a lado, dos mais simples empreendimentos, de caráter artesanal, com as sofisticadas estruturas empresariais, graças à diversidade de seus fornos. Tal aspecto, com tamanho contraste tecnológico, foi desenhado e desenvolvido por fatores relacionados à característica de aparente simplicidade que possui o processo químico de calcinação, à farta distribuição dos calcários/dolomitos pelo território nacional e à importância que a cal tem no suprimento das necessidades básicas humanas (CNI, 2010).

O grande contraste existente entre as “caieiras” e as “usinas de cal”, pode ser visualizado através da descrição dos seus fornos de calcinação descritos em relatório da ABPC (ABPC, 2015).

- Forno de barranco descontínuo: forno de alvenaria, construído de forma simples, baixo, com revestimento de tijolos comuns recozidos, ou mesmo sem revestimento, geralmente encravado na meia encosta de pequenas elevações, descontínuo, com carga e descarga manuais, com produção até 1.000 t/ano, com fornalha geralmente constituída por abóbada da própria pedra (caprichosamente empilhada no seu interior, em cada uma de suas cargas), sem zonas de aquecimento e pré-calcinação (substituídas por uma fase de “esquente”), altíssimo consumo de combustível (em média, de 280 kg de óleo combustível BPF ou 2,6 m³ de lenha ou mais, por tonelada de cal virgem) e tiragem natural.
- Forno de barranco contínuo: forno de alvenaria, bem construído, alto, com chaminé, “boca de fogo” e “cinzeiro”, cilíndrico, com revestimento de tijolos recozidos e refratários, geralmente encravado na meia encosta e sustentado por estruturas de alvenaria ou metálicas, com carga e descarga semi-automáticas, com produção de 3000 t/ano (em média), sem recuperação de calor (dos gases e da cal virgem), alto consumo de combustível (em média de 220 kg de óleo combustível BPF ou 1,7 metro³ de lenha por tonelada de cal virgem) e tiragem forçada.
- Forno vertical metálico de cuba simples: forno metálico, contínuo, geralmente do tipo AZBE, com tiragem forçada e controle termodinâmico, cilíndrico, com revestimento refratário e isolante, carga e descarga automáticas, com recuperação parcial do calor perdido nos gases e na cal virgem, com produção de até 350 toneladas/dia de cal, com consumo de combustível em média de 132 kg de óleo combustível BTE ou 1,1 m³ de lenha por tonelada de cal virgem.

- Forno vertical metálico de cubas múltiplas e fluxos paralelos: forno metálico, contínuo, geralmente do tipo MAERZ, com tiragem forçada e controle termodinâmico, secção circular ou 28 retangular, com revestimento interno refratário e isolante, carga e descarga automáticas, os fluxos dos gases e do ar de combustão são invertidos alternadamente nas cubas (em cada 12 minutos, nos de duas cubas) e uma delas passa a funcionar como recuperadora de calor, com produção de até 144.000 toneladas de cal ano, com consumo de combustível em média 89 kg de óleo combustível BPF e BTE, por tonelada de cal virgem

A ABPC (MME, 2010) estimou um consumo específico médio de energia térmica de 0,1026 tep/t em 2007, que está aderente com o verificado nas calcinadoras das usinas siderúrgicas, e um consumo específico médio de energia elétrica de 0,0013 tep/t naquele ano, que está muito abaixo dos valores observados nas calcinadoras supra-citadas e nas instalações mais eficientes no exterior (CNI, 2010)

A tecnologia mais eficiente (*Best Available Technology* – BAT) no consumo de energia térmica é a empregada na calcinadora da CSN. Seu consumo específico de energia térmica – 0,0704 tep/t – é inferior ao verificado nas melhores calcinadoras na União Europeia – 0,0860 tep/t. O consumo específico de energia elétrica correspondente ao BAT, no exterior, é de 0,0034 tep/ (CNI, 2010)

Observa-se que simples substituição da produção de cal em fornos artesanais de baixa escala por fornos verticais indica a opção de mitigação mais clara e com maior potencial no Brasil. Entretanto, o caráter heterogêneo da produção de cal no país impede a implementação desta medida em boa parte dos produtores nacionais.

2.2.5 VIDRO

A indústria de vidros é usualmente desagregada nos seguintes segmentos: vidros de embalagens, vidros domésticos, vidros especiais e vidros planos.

A Tabela 38 mostra dados de produção, consumos energéticos específicos e coeficientes de distribuição de energia para esta indústria em 2007. A fabricação de todos os tipos de vidros utiliza fornos como único uso final de energia térmica. O uso de energia elétrica é predominantemente em força motriz. Uma estimativa da Abividro, 2007, para o consumo total de gás natural nesta indústria, mais os dados sobre consumos setoriais de óleo combustível e GLP, levantados pela ANP, permitiram a realização de uma boa estimativa do valor médio do consumo específico de energia térmica nesta indústria.

Tabela 38: Uso da Energia no Setor de Vidro [tep]

Combustível	Ano - Consumo de Energéticos - 10 ³ TEP									
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gás natural	295,4	380,5	423,1	465,3	469,9	481,9	431,6	388,6	441,0	484,4
Óleo combustível	124,6	114,8	71,9	70,3	64,2	53,4	53,4	48,1	54,3	59,9
GLP	18,2	15,1	11,0	8,7	8,3	7,9	7,2	6,4	7,6	8,3
Eletricidade	99,2	116,0	114,4	122,8	122,8	122,8	111,0	100,9	114,4	126,1
TOTAL	537,4	626,5	620,3	667,1	665,2	665,9	603,2	544,1	617,2	678,7

Fonte: CNI (2010) e extrapolação de 2007 a 2010 elaborada pelo autor.

Uma estimativa do valor médio do consumo específico de energia elétrica da indústria de vidros no Brasil foi obtida em uma publicação recente do Ministério de Minas e Energia (MME, 2008c).

A Tabela 39 apresenta os consumos específicos de energia elétrica e térmica, ou seja, a divisão entre consumo energético, em mil tep, pela produção.

Tabela 39: Consumos energéticos específicos típicos na indústria de alumínio Brasileira

Energia Térmica	Energia Elétrica
0,2152 tep/t	0,0481 tep/t
	86% Força Motriz
	2% Refrigeração
100% Aquecimento Direto	9% Fornos Elétricos
	3% Iluminação

Fonte: CNI (2010).

A análise das melhores tecnologias disponíveis foi feita de maneira a detalhar as tecnologias mais proeminentes para utilização no setor industrial de vidro.

2.2.5.1 BATCHING SELETIVO

O *batching* seletivo é uma técnica que pode ser utilizada para diminuir a reação química de carbonatos alcalinos e alcalino-terrosos e assim eliminar a formação de líquidos eutéticos de baixa viscosidade nos estágios iniciais da fusão - o que leva a um aumento dos tempos de reação e fusão. Isso pode reduzir os tempos de fusão e otimizar o consumo de energia. Desenvolvimentos com esta tecnologia têm sido focados na secagem por aspersão para pré-misturar as diferentes matérias-primas. Para pulverizar o material seco, o material precisa ser moído muito fino, o que já é feito para a produção de fibras de vidro. Portanto, aplicações iniciais estão se concentrando na produção de fibra de vidro. A tecnologia está sendo submetida a testes adicionais em uma escala maior e ainda não está comercialmente disponível (Worrell et al., 2008).

Os primeiros resultados indicam que o tempo de fusão pode ser reduzido em 50%, resultando em economia de combustível de 20-33% (Worrell et al., 2008).

2.2.5.2 FORNOS DE PONTA (END FIRED FURNACES)

Esse tipo de forno oferece maior eficiência energética e menores custos de investimento em comparação com os fornos de queima cruzada. No entanto, sua capacidade é limitada a cerca de 150 t / dia (Worrell et al., 2008). Em comparação com fornos de queima-cruzada, a eficiência térmica é cerca de 10% maior (Worrell et al., 2008).

Em comparação com fornos de queima cruzada, os custos de investimento são cerca de 20% mais baixos (Worrell et al., 2008).

2.2.5.3 FORNOS VERTICAIS

Em vez de queimar horizontalmente, estes fornos dirigem as chamas quase verticalmente em relação a superfície do lote (*batch*). Este sistema de fusão pode fornecer mais energia por área de superfície do lote sem aumentar as temperaturas refratárias para além dos limites de operação normais. Assim, o forno pode derreter mais vidro e / ou um vidro de maior qualidade para um mesmo tamanho de forno (Worrell et al., 2008). A conversão em fornos convencionais em fornos verticais, combinada com o aumento de oxigênio, mostrou proporcionar um aumento de taxa de pureza de 50%, sem afetar as emissões ou a química do vidro, mas reduzindo defeitos. Esta tecnologia pode fornecer mais energia por área de superfície de fusão, sem aumentar as temperaturas refratárias para além dos limites operacionais. Entretanto, uma das principais questões observadas com esta tecnologia é que a adição de energia utilizando este método é acompanhada por uma deterioração progressiva da abóboda de refratários de sílica, que perde espessura, podendo levar a situações de colapso, e à alta formação de drippers (estalactites na área a jusante do queimador, levando à significativa degradação de qualidade no vidro. Esta degradação acentuada dos refratários é causada pelo aumento significativo nas concentrações de soda nos mesmos. Além disso, sua aplicação demanda queimadores a oxigênio. Por conta disso, a tecnologia não é usada no mercado.

2.2.5.4 FORNOS OXY-FUEL

A fusão *Oxy-fuel* envolve a substituição do ar de combustão por oxigênio (> 90% de pureza). A técnica pode ser usada com gás natural ou óleo como combustível, embora o uso de gás seja mais comum. A técnica acarreta potencialmente a economia de energia, uma vez que não é necessário aquecer o nitrogênio atmosférico para a temperatura de chama. Menos ar de combustão tem que ser aquecido e, portanto, menos energia é perdida com os gases residuais do forno (IPTS / EC 2013, página 226).

A economia de energia gerada pela conversão para um forno de *oxy-fuel* depende do uso de energia do forno atual, do uso de incremento elétrico, vazamento de ar, tipo de vidro e uso de caldeira (Worrell

et al., P.64). Além disso, a energia indireta - a eficiência do sistema de recuperação de calor de gás residual (recuperador, regenerador, etc.), e a energia necessária para produzir o oxigênio (pode ser entre 0,4 - 1 kWh / Nm³) (IPTS EC, 2013. página 227) devem ser levadas em consideração para verificar os ganhos líquidos finais.

Além de reduzir o consumo de energia, a queima de *oxy-fuel* é um método muito eficaz para reduzir as emissões de NOx.

Virtualmente, em todos os segmentos da indústria do vidro, a tecnologia 100% de combustão *oxy-fuel* foi demonstrada com sucesso. A tecnologia também oferece outras vantagens, incluindo aumento da produtividade (15-20%), redução de ruído, tempos de fusão reduzidos e melhorias na qualidade do vidro devido a menores variações no produto. As desvantagens podem incluir o desgaste refratário aumentado e a diminuição da vida do forno (ou custos com refratários aumentados), custos de produção de oxigênio e potenciais problemas relacionados às conversões de fornos regenerativos (Worrell Et al., 2008).

As economias de energia podem ser superiores a 50% quando pequenos fornos termicamente ineficientes são convertidos em queima de *oxy-fuel*. Para um forno de recuperação de médio porte sem medidas avançadas de economia de energia, níveis padrão de isolamento, o uso de energia com fusão de *oxy-fuel* seria 20 a 50% menor (IPTS / CE, 2013). Mesmo para grandes fornos regenerativos eficientes, a economia seria entre 5 e 20% (Worrell et al., 2008).

Os custos de capital de um novo forno de *oxy-fuel* são cerca de 20% mais baixos comparados com os fornos de recuperação e 30-40% mais baixos comparados aos fornos regenerativos. Os custos da planta de oxigênio no local são cerca de 10% dos custos de capital da planta. Os fornos de oxigênio também se beneficiam de custos reduzidos para o tratamento de gases de combustão (Worrell et al., 2008 p.64).

No entanto, surge a necessidade de instalar material refratário extra durável (coroas de sílica de alta capacidade podem aumentar os custos de capital em 300.000 a 400.000 euros) (IPTS / CE, 2013). Logo, os custos de operação irão aumentar.

2.2.5.5 RECUPERAÇÃO DE CALOR DO FORNO

A temperatura dos gases de combustão que saem do regenerador está normalmente entre 300 e 600 ° C e pode ser utilizada para recuperar e produzir vapor. Capturar o calor residual pode ser feito antes da limpeza dos gases de combustão (com limpeza subsequente) ou após a limpeza do gás (Worrell et al., 2008. p.60). A quantidade de calor que pode ser recuperada é determinada pelas temperaturas de saída, que é limitada a cerca de 200 ° C, a fim de evitar a condensação em tubos de caldeira (IPTS / EC, 2013, p.316). O vapor produzido pode ser usado para gerar energia (usando turbinas a vapor), sopradores de acionamento ou compressores (Worrell et al., 2008).

A aplicabilidade e a viabilidade econômica dessa medida são ditadas pela eficiência global que pode ser obtida (incluindo a utilização eficaz do vapor gerado). Na prática, as caldeiras de calor residual só foram consideradas para recuperar o calor residual a jusante dos sistemas de regeneração ou de recuperação e estima-se que existem, pelo menos dois exemplos com fornos de *oxy-fuel* na Europa. Em muitos casos, a quantidade de energia recuperável é baixa para a geração eficiente de energia e queima suplementar pode ser necessária para gerar vapor superaquecido para acionar turbinas. Os fornos de recuperação com temperaturas mais elevadas de gás residual ou instalações onde é possível agrupar os gases residuais de vários fornos oferecem mais oportunidades de geração de energia.

Entre 1500 kWh/h (para fornos regenerativos) e 6472 kWh/h para (fornos regenerativos) podem ser recuperados na produção de vidro para recipientes (Worrell et al., 2008).

Os custos de investimento podem exceder 1 milhão de euros com períodos de retorno variável, dependendo do desempenho e dos preços de energia vigentes. Portanto, esta tecnologia é factível e está disponível comercialmente no mercado, preservado o alto custo de investimento em relação ao potencial de geração de energia elétrica obtido, para a indústria de vidro oco. No caso dos fornos de vidro flotado, já está sendo aplicada para geração de vapor.

2.2.5.6 FORNOS REGENERATIVOS

Os fornos regenerativos possuem duas câmaras, ambas contendo material refratário, chamado o verificador (*checker*). Enquanto numa câmara os gases de combustão passam através do verificador e entram no forno na outra câmara o verificador é aquecido, ou regenerado, com o gás de exaustão quente. O forno funciona em dois ciclos, onde a cada 20 minutos, o fluxo é invertido para que o novo ar de combustão possa ser aquecido pelo verificador da outra câmara. As temperaturas típicas de pré-aquecimento do ar (dependendo do número de portas) estão normalmente na faixa de 1.200 a 1.350 °C, às vezes até 1.400 °C (IPTS / EC). Fornos regenerativos são muito comuns na indústria, tanto no Brasil quanto no resto do mundo.

As configurações de *side-port* (queima-cruzada) e de porta final (*end-port*) são os principais tipos de fornos regenerativos. As portas laterais são mais comuns e oferecem boa flexibilidade para ajustar o perfil de temperatura do forno. Por outro lado, os fornos de *end-port* são mais eficientes em termos energéticos, em parte devido à redução das perdas de calor através das portas e também devido ao aumento do tempo de residência dos gases de combustão (IPTS / EC).

A aplicação de regeneradores “*multi-pass*” só será possível com a construção de um novo forno com a adição de mais tijolos refratários. Eles recuperam a energia dos gases de combustão de forma mais eficiente e podem reduzir a intensidade energética do forno (Worrell et al. Al., 2008). Os regeneradores de múltiplas passagens podem reduzir a intensidade energética do forno em 15% (Worrell et al., 2008).

Os fornos regenerativos podem ter eficiência de energia térmica de até 65% (US DOE, 2002.). As economias de energia estão correlacionadas com a temperatura do gás de combustão pré-aquecido.

Por exemplo, com uma temperatura de ar de combustão de 800 °C obtêm-se uma economia de energia de 35%.

2.2.5.7 FORNOS COM RECUPERAÇÃO

Em sistemas de recuperação, o ar frio entrante é aquecido por um fluxo contínuo dos gases de exaustão, usando um trocador de calor. Sistemas de recuperadores são utilizados principalmente para a produção de fibra de vidro (Worrell et al., 2008) ou em fornos menores. As temperaturas de pré-aquecimento do ar estão limitadas a cerca de 800 ° C para os recuperadores metálicos, e o calor recuperado por este sistema é, portanto, mais baixo do que nos fornos regenerativos.

A menor eficiência energética direta pode ser compensada por sistemas adicionais de recuperação de calor nos gases residuais, quer para pré-aquecimento de matérias-primas, quer para a produção de vapor. Os fornos de recuperação, por outro lado, proporcionam uma melhor uniformidade de temperatura, uma vez que estão livres das flutuações de temperatura dos verificadores (*checkers*) de fornos regenerativos (Worrell et al., 2008).

2.2.5.8 VELOCIDADE VARIÁVEL NOS COMPRESSORES DE AR (ASD)

A adoção de unidades de velocidade ajustáveis em sistemas de compressores rotativos pode economizar 15% do consumo anual de energia.

Uma fábrica de lã de vidro para isolamento na Dinamarca, realizou uma economia de eletricidade de 200 MWh/ano (uma redução de 29%), instalando um ASD no seu compressor principal (Worrell et al., 2008). O período de retorno da instalação dos ASDs na fábrica dinamarquesa foi de 3 anos.

2.2.5.9 DERRETIMENTO ELÉTRICO

Os tanques elétricos de fusão de vidro são tipicamente usados para a produção de produtos especiais ou para capacidades menores - geralmente menores do que 75 t/dia (Worrell et al., 2008). A fusão elétrica oferece maiores eficiências térmicas diretas em comparação com fornos a combustível fóssil. A substituição completa dos combustíveis fósseis no forno elimina a formação de produtos de combustão no local. Contudo, o desempenho global em termos de energia e de emissões depende da natureza da matriz de produção e da eletricidade do país (IPTS / EC).

Os sistemas de derretimento elétrico de última geração consomem 2,81 a 2,88 GJ / t de vidro de soda-cal ou sódio-borato (Worrell et al., 2008.). A eficiência térmica dos fornos elétricos é de 2 a 4 vezes superior à dos fornos a gás (IPTS / EC, 2013).

Os fornos elétricos têm custos de capital mais baixos, mas têm uma vida útil mais curta (2 a 7 anos em comparação com 10 a 20 anos para fornos convencionais) e custos de energia mais elevados (na Europa, os custos médios de eletricidade por unidade de energia são 4 a 5 vezes o custo de óleo

combustível) (EPTS / EC, 2013). O parque industrial de produção de vidro brasileiro está concentrado em quatro grandes empresas, sendo os vidros planos o maior produto, utilizados basicamente na construção civil. Segundo (MME, 2010), eram estimados investimentos da ordem de 1 bilhão de reais, que acabaram sendo postergados devido à crise econômica e à redução da demanda no país. Caso a demanda por vidros no país se intensifique com a retomada da atividade econômica, e com ela as perspectivas de investimento, as novas unidades produtivas do setor podem fazer uso das novas tecnologias disponíveis.

De acordo com (IIP, 2016), a adoção das melhores tecnologias no setor industrial de vidro pode trazer ganhos de 40% na utilização dos recursos energéticos em países em desenvolvimento.

Os fornos de fusão de vidro, sejam eles à combustão ou eletricidade, são os maiores consumidores de energia no processo, sendo responsáveis por até 75% do uso total de energia no processo de produção de vidro. Logo, esses equipamentos são os mais importantes naquilo que tange a adoção de processos de eficiência energética. Medidas como a melhora do controle de processos, recuperação de calor dos fornos, uso de sistemas oxy-fuel e otimização no uso da sucata são oportunidades de redução de consumo importantes nesse setor.

2.2.6 FERRO-GUSA E AÇO²²

Na presente seção, são brevemente descritas tecnologias capazes de propiciar o aumento da eficiência energética durante o processo de produção de ferro e aço. O estudo das melhores tecnologias disponíveis aponta uma lista extensa de diferentes aplicações. De forma a resumir o conteúdo analisado, foram descritas nesse trabalho apenas as tecnologias mais maduras e que possuíam maior quantidade de informações sobre o desempenho de seus processos. Para isso, foram analisados o estudo da *Environment Protection Agency* (EPA, 2012), o relatório de melhores tecnologias na indústria siderúrgica do *European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau* (EIPPCB, 2013) e o estudo da *Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate* (Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate, 2010). A seguir são descritos os processos analisados, classificados de acordo com a etapa de produção.

²² Texto utilizou o estudo desenvolvido no projeto “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave no Brasil” – BRASIL (2017b).

2.2.6.1 TRATAMENTO OU PREPARAÇÃO DE MATERIAIS

2.2.6.1.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE COQUE

2.2.6.1.1.1 ARREFECIMENTO DE COQUE A SECO (*DRY COKE QUENCHING*)

O Arrefecimento de coque a seco (EPA, 2012) é uma solução alternativa ao procedimento tradicional de resfriamento molhado de coque. Esse processo reduz as emissões de partículas e recupera o calor sensível do coque. O coque quente é resfriado em gás inerte em câmaras refratárias especialmente desenvolvidas. Além disso, parte do calor retirado do coque pode ser recuperada para a produção de vapor. O processo é utilizado como uma tecnologia de controle de emissões, com aplicações no Brasil, Finlândia, Alemanha, Japão e Taiwan.

Características principais:

- Energia recuperada para produção de aproximadamente 400 – 500 kg de vapor por tonelada de coque (equivalente a 0,8 – 1,2 GJ/tonelada de coque);
- Custo de construção de 50 US\$/tonelada de coque (planta construída a Alemanha). O custo de *retrofit* varia de 70 a 90 US\$/GJ economizado.
- Redução de emissões de CO₂ de aproximadamente 0,2 toneladas de CO₂/tonelada de coque produzido.
- Estágio de Desenvolvimento da Tecnologia: Operação comercial.

2.2.6.1.1.2 CONTROLE DA UMIDADE DE CARVÃO (*COAL MOISTURE CONTROL*)

O controle da mistura de carvão (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010) utiliza calor residual dos gases do forno de coque para secar o carvão usado na produção de coque. O aquecimento do carvão reduz o consumo de energia dos fornos de coque.

Características principais:

- Economia de combustível de 0,3 GJ/tonelada de coque.
- Custo estimado de 21,9 US\$/tonelada de aço bruto (usina japonesa).
- Incremento da produção de coque em até 10%.
- Redução do tempo de operação do forno.
- Estágio de Desenvolvimento da Tecnologia: Operação comercial.

2.2.6.1.1.3 AUTOMATIZAÇÃO E CONTROLE DO FORNO DE COQUE

A automatização e o controle do processo de produção do coque (EPA, 2012) utilizam sistemas de controle dedicados e cálculos baseados na operação de cada fornalha, aumentando a eficiência do processo.

Características principais:

- Menos consumo de energia do forno, aproximadamente 0,17 GJ/tonelada de coque.
- Produção de coque de melhor qualidade.
- Redução das emissões em cerca de 3,8 kg de CO₂ por tonelada de coque
- Custo estimado em 0,38 US\$/tonelada de coque produzida.
- Estágio de Desenvolvimento da Tecnologia: Operação comercial.

2.2.6.1.1.4 Fornos para Recuperação de Calor do Coque Produzido (*HEAT RECOVERY COKE BATTERY*)

Na produção de coque com recuperação de calor, todos os compostos voláteis do carvão são queimados dentro do forno de forma a fornecer o calor necessário ao processo de produção do coque. O forno horizontal opera com pressão negativa, onde ar de combustão primária é introduzido através de entradas nas portas do forno. Ar secundário é injetado no forno para completar o processo de combustão no fundo do forno, garantindo a equalização da combustão em todo o forno. Devido às temperaturas atingidas, os hidrocarbonetos tóxicos são incinerados dentro do forno. Os gases quentes são direcionados a uma chaminé para a recuperação de calor em uma caldeira de recuperação de calor, onde vapor de alta pressão é produzido para produção de potência. Finalmente, o gás de exaustão resfriado é limpo em um sistema de desulfurização, sendo posteriormente descarregado na atmosfera.

Características principais (EPA, 2012):

- Baixo custo de investimento em plantas que não possuem cogeração.
- Baixa emissão de particulado do forno.
- Produção de energia elétrica de aproximadamente 630 – 700 kWh/tonelada de coque.
- Melhor qualidade do coque.
- Necessita de espaço considerável.
- Custo estimado 365 US\$/tonelada de coque produzido para a instalação do forno, unidade de gerenciamento do coque e unidade de geração de energia.

2.2.6.1.1.5 ESTABILIZAÇÃO DO COQUE RESFRIADO (*COKE STABILIZATION QUENCHING*)

A estabilização do coque resfriado é uma tecnologia de arrefecimento de coque utilizada na Alemanha desde 2007 (EPA, 2012). Nesse processo, o coque quente é resfriado por água em sua parte superior e inferior, com altas taxas de arrefecimento.

Características principais:

- Redução do consumo de coque em até 2%.
- Redução das emissões de CO₂.

2.2.6.1.2 PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO

2.2.6.1.2.1 RECUPERAÇÃO DE CALOR NAS PLANTAS DE SINTERIZAÇÃO

Nas plantas de sinterização é possível capturar calor do resfriamento do síter para utilização no preaquecimento do ar de combustão e para geração de vapor para o acionamento de turbinas de geração de eletricidade (EPA, 2012).

Plantas na Holanda e Japão já possuem a tecnologia, obtendo as seguintes características:

- Redução das emissões de SO_x (óxidos de enxofre) e NO_x (óxidos de nitrogênio).
- Custo de investimento de aproximadamente 3 US\$/tonelada de síter.
- Economia de energia de 47 kJ/tonelada de síter.

2.2.6.1.2.2 CONTROLE DE EMISSÕES DE PARTÍCULAS

Consiste na utilização de precipitadores eletrostáticos para captura de particulados.

Características principais:

- Redução de poeira na exaustão de 3000 mg/m³ para 50 mg/m³
- Pode ser instalado em plantas em operação.
- Aumento do consumo de energia em 0,003 GJ/tonelada de síter.

2.2.6.2 PRODUÇÃO DE FERRO

2.2.6.2.1 ALTO-FORNO

De acordo com estimativas conservadoras, o processo de preaquecimento da sucata em processos de alto-fornos poderia incrementar a produtividade em 10%. Além disso, a recirculação de oxigênio no alto-forno resultaria em uma demanda menor de calcário, levando à redução das emissões de CO₂. Outra opção poderia ser a utilização da escória para outras aplicações, como a produção de cimento.

A eficiência do alto-forno pode ser aumentada através do uso de oxigênio puro em substituição do ar enriquecido de oxigênio e na recirculação de parte do gás de topo, gerando a minimização da necessidade de agentes redutores (IEA, 2010).

2.2.6.2.2 TOP PRESSURE RECOVERY TURBINE (TRT)

As turbinas TRTs consistem em um sistema de produção de potência baseado na conversão da energia física da alta pressão dos gases de topo dos alto-fornos em eletricidade através de uma turbina de expansão (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010).

Características principais

- Produção de aproximadamente 40-60 kWh/tonelada de ferro gusa.
- Investimentos típicos de 20 a 28 US\$/tonelada para um caso onde a geração foi de 30 kWh/tonelada de metal quente.

2.2.6.2.3 INJEÇÃO DE CARVÃO PULVERIZADO

A injeção de carvão pulverizado substituiu parte do coque utilizado como combustível nas reações químicas, reduzindo a produção de coque e economizando energia. A injeção de combustível necessita de energia para a injeção de oxigênio, carvão e eletricidade além de equipamentos para moer o carvão. O carvão substitui o coque, entretanto o coque ainda é usado como matéria de suporte dentro dos alto-fornos, dessa forma a injeção máxima de carvão depende da geometria do forno e impacta na qualidade do ferro produzido (EPA, 2012).

Características principais:

- Reduz as emissões dos fornos de coque.
- Aumenta o custo de injeção de oxigênio e manutenção do alto-forno e do sistema de moagem do carvão, entretanto reduz os custos de aquisição de coque, gerando uma economia líquida nos custos de operação e manutenção estimada em 15 US\$/tonelada (podendo atingir até 33 US\$/t). Resultando na redução líquida de 4,6% do custo de produção do metal quente.
- Investimentos no equipamento de moagem do carvão são estimados em 50-55 US\$/tonelada de carvão injetado
- Aumento da produtividade.

Ressalta-se também a injeção de carvão pulverizado em substituição ao carvão mineral injetado. Tal tecnologia demanda pequenos investimentos para esta substituição do carvão mineral por vegetal nas plantas de moagem e injeção e já se encontra em estágio operacional em siderurgias no Brasil. Além

disso, quanto maior a disseminação do uso do carvão vegetal, menores serão os custos de produção com novas tecnologias mais eficientes.

2.2.6.2.4 RECUPERAÇÃO DE CALOR NO ALTO-FORNO

Sistemas de recuperação de calor, como os fornos de aquecimento de ar e sistemas de preaquecimento do gás de alto-forno, são utilizados para aquecer o ar de combustão dentro dos alto-fornos (EIPPCB, 2013). Os gases quentes de escape, a aproximadamente 250°C ainda podem ser utilizados para o preaquecimento de fornos.

Características principais dos fornos de aquecimento de ar (*Hot Blast Stoves*) (EPA, 2012):

- Economia energética variando entre 89-85 MJ/tonelada de metal quente
- Altos custos e extremamente dependente do tamanho do alto-forno, estima-se que o custo de 18-20 US\$/GJ economizado, equivalente a 1,4 US\$/tonelada de metal quente.
- Fornos de aquecimento de ar eficientes podem operar sem utilizar gás natural como combustível, poupando energia.

Características principais dos fornos de preaquecimento dos gases de alto-forno (*BFG Preheating System*) (EPA, 2012).

- Recuperação de energia proveniente de fontes de média e baixa temperatura.
- Redução de 426 kJ/kWh no input de combustível, gerando aumento da eficiência térmica de 3,3%
- *Payback* estimado de apenas 1,5 anos.

2.2.6.2.5 AUMENTO DA TEMPERATURA DO AR QUENTE

Sistemas de carga de alto-fornos antigos e novos estão sendo substituídos e equipados com o sistema de carga *Paul Wurth Bell Less Top* (BLT). Nesse tipo de sistema, os materiais injetados no alto-forno, como coque e sinter, são analisados antes da injeção, garantindo a distribuição correta dos materiais, aumentando a taxa de coqueificação e a produtividade (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010).

Características principais:

- Aumento da eficiência dos combustíveis.
- Redução das emissões
- Aumento de produtividade.
- Aumento da taxa de coqueificação.

2.2.6.2.6 OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE

A otimização dos sistemas de controle de alto fornos é obtida através de sistemas especialistas, que utilizam diversos modelos do processo, responsáveis por observar o alto-forno de maneira contínua, realizando cálculos, diagnósticos, verificação de distúrbios e executando ações corretivas na operação, como modificação da taxa de agentes redutores e mudanças na distribuição de carga (EPA, 2012). Dependendo da tecnologia do fornecedor, o sistema especialista pode ser executado no modo aviso (sem atuação) ou em loop fechado (atuando a partir da resposta).

Características principais:

- Menor uso de combustível.
- Maior produtividade.
- Redução da variação da qualidade do metal produzido.
- Redução dos distúrbios.

2.2.6.2.7 CAPTURA DE CARBONO POR ABSORÇÃO FÍSICA

Consiste na utilização de uma reação de deslocamento e na captura do carbono por absorção física. O gás de alto forno é alterado para um agente redutor (CO) e reutilizado como matéria prima no processo, reduzindo o consumo de carvão e de coque.

Este tipo de processo substitui o alto-forno (BF) convencional, que utiliza ar para a queima, pelo *oxygen blast furnace* (OBF ou TGRBF), que utiliza oxigênio para a queima, o que faz com que o gás de topo se concentre mais em CO₂, permitindo uma captura mais eficiente (HOOEY et al., 2013; YANMAZ, 2012). A seguir, há o *stripping* do CO₂ do gás de topo, resultando em uma corrente rica de CO que pode ser reinjetada no BF, reduzindo seu consumo de coque em até 30% (HOOEY et al., 2013; KURAMOCHI, 2011). Esta tecnologia pode ser implementada em alto fornos convencionais, apesar de impactar em grandes mudanças ao forno, isto é, permite o *retrofitting* (KURAMOCHI, 2011).

Esta tecnologia tem sido estudada para comercialização no programa ULCOS (*European Ultra Low CO₂ Steelmaking*) e já foi testada experimentalmente no alto-forno experimental (EBF) em Luleå, Suécia. O EBF foi modificado e uma planta de separação de gás baseada na tecnologia VPSA foi construída próximo ao EBF (EUROPEAN COMMISSION, 2014). Os testes indicaram que é possível uma economia de CO₂ de 24% e, com a aplicação do CCS, é possível capturar 60% das emissões (EUROPEAN COMMISSION, 2014).

TGRBF visa reduzir significativamente as emissões de CO₂ e reduzir o consumo de coque, já que o CO e H₂, agentes redutores do gás de topo, são reciclados e reinjetados no BF após a remoção do CO₂, o que reduz a demanda por energia e redutores no BF (EUROPEAN COMMISSION, 2014; HOOEY et al., 2013). O gás de topo contém pouco de nitrogênio (a queima é feita com oxigênio ao invés de ar),

CO (40 a 50% v/v) e CO₂ (35% v/v), permitindo sua utilização como agente redutor após a captura do CO₂ (HOOEY et al., 2013).

A estimativa indica um custo de abatimento de 112 US\$/tCO₂ para esta opção, assumindo-se ainda que ela estaria disponível para implementação no Brasil apenas em 2025-2030.

2.2.6.2.8 REDUÇÃO DE EMISSÕES POR COMBUSTÃO À OXIGÊNIO

Tecnologia baseada na utilização de um alto-forno alimentado com oxigênio puro, com recirculação dos gases do forno e recirculação dos gases de topo.

O fluxo reciclado pode ser dividido em duas correntes distintas: uma fria, injetada na parte inferior do alto-forno, e outra quente, injetada um ponto superior do equipamento, aumentando a eficiência do processo (IEA, 2010).

A combinação de um sistema de captura de carbono por absorção física e oxy-combustão poderia resultar em reduções de 85% a 95% das emissões de CO₂ (IEA, 2008).

2.2.6.2.9 FUSÃO REDUTORA

A fusão redutora possui suas vantagens e desvantagens, como o fato de alguns processos nessa rota não serem capazes de utilizar o minério de ferro fino, por outro lado são mais flexíveis em relação ao tipo de carvão utilizado, além de não necessitar de coque.

O consumo de potência em fusões redutoras tende a ser maior do que quando comparado com o processo de alto-forno, porém o gás de exaustão pode ser utilizado como uma fonte de energia, gerando grande impacto na eficiência total do processo. Estudos indicam que no futuro a fusão redutora pode atingir eficiência de 5% a 30% superiores aos processos de alto forno (IEA, 2008).

2.2.6.2.10 NOVOS PROCESSOS DE FUSÃO REDUTORA (SMELTING REDUCTION)

Processos de fusão redutora, como Aumelt, Ausiron, Hismelt, CCF, DIOS e COREX, consistem na pré-redução do minério de ferro por gases provenientes de um banho quente (*hot bath*). O ferro pré-reduzido é então fundido no banho quente, sendo o excesso de gás produzido utilizado para a produção de potência elétrica, produção de DRI (*direct reduced iron*) ou como gás combustível. Dessa forma, a fusão redutora elimina a necessidade do uso de coque e sinter, e processos em desenvolvimento ainda buscam eliminar a necessidade de preparação do minério de ferro.

Características principais (EPA, 2012):

- Baixo custo de investimento e operação
- 5-35% abaixo do custo de produção da rota convencional (Alto-forno).
- Uso direto de minério de ferro e carvão térmico.

- Não possui coqueria, sinterização e pátios de mistura.
- Forno único com recuperação direta da energia residual.
- Baixo impacto ambiental
- A não utilização de fornos de coque e sinterização reduz as emissões de CO₂, SO₂ e NOx. Não produz dioxinas, furanos, alcatrão e fenóis.
- Reciclagem da poeira e escória de aciaria, utilizando a energia do carvão de maneira mais eficiente.
- Alta qualidade do produto.
- Grande flexibilidade de matérias primas, podendo utilizar resíduos de outras usinas e minérios com alto teor de fósforo.

2.2.6.2.11 PROCESSO COREX

O processo Corex é dividido em duas etapas de redução direta, consistindo em: (1) gaseificador de fundição (*melter-gasifier*), responsável por derreter o DRI e gasificar o carvão e pelo (2) forno de cuba DRI (*DRI shaft furnace*) montado acima do gaseificador de fundição, responsável por reduzir o minério granulado ou pellets em DRI utilizando o gás redutor proveniente do gaseificador de fundição (EPA, 2012).

Características principais:

- Não necessita de fornos de coque e sistemas de aglomeração.
- Ganhos ambientais significativos quando comparado com rotas integradas:
- Emissões de CO₂ por tonelada de metal quente são reduzidas em aproximadamente 20%.
- Redução de NOx por tonelada de metal quente de aproximadamente 30%
- Consumo de combustível pode ser reduzido pela circulação de gás de topo do forno de cuba no próprio forno.
- Reação de redução, fusão e remoção da escória são realizadas em apenas 10 minutos.

2.2.6.2.12 PROCESSO FINEX

O processo FINEX consiste em uma fusão redutora multiestágio, composta por um gaseificador de fundição (*melter-gasifier*) e uma sequência de leitos fluidizados responsáveis por reduzir o minério de ferro em DRI. Visando a ótima eficiência energética do processo os seguintes auxiliares devem ser utilizados: (1) Remoção de CO₂ nos gases de topo do forno e recirculação do gás para as câmaras de

leito fluidizado. (2) Cogeração utilizando o gás exportado devido ao seu alto poder calorífico. (3) Injeção de carvão pulverizado para melhorar o rendimento do gaseificador de fundição.

Características principais (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010):

- Não necessita de pelletização, sinterização ou aglomeração de matéria prima.
- Permite o uso de concentrados finos.
- Benefícios ambientais quando comparado com usinas integradas
- Permite a utilização de carvão de baixa qualidade.

2.2.6.2.13 REDUÇÃO DIRETA

O ferro reduzido diretamente é produzido através da redução de pellets de minério de ferro abaixo do ponto de fusão do ferro. Isso pode ser obtido tanto pela utilização de gás natural (processo Midrex) ou carvão (processo FASTMELT) como agentes redutores. O DRI produzido é utilizado principalmente como input de alta qualidade em plantas de Fornos Elétricos a Arco (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010).

As emissões de CO₂ em processos como o MIDREX e Hyl estão na ordem de 0,6 toneladas de CO₂ por tonelada de ferro reduzido produzido.

Características principais:

- Sem a necessidade do pré-tratamento da matéria prima.
- Elimina o forno de coque.
- Baixos custos de investimento e de operação.
- No processo FASTMELT:
- Reação de redução a maiores velocidades e menores temperaturas.
- Redução do uso de combustível.
- Baixas perdas de calor.
- Redução de emissões.
- Consumo de energia é de 12,3 GJ/tonelada de metal quente.
- Redução de emissão de CO₂ estimada em 1.241 kg CO₂/tonelada de metal quente

2.2.6.2.14 PROCESSO ITMK3

O processo ITmk3 utiliza uma fornalha rotativa semelhante à do processo FASTMELT. Nesse processo, minério de ferro de baixa qualidade e carvão são utilizados para produzir pepitas de ferro (97% de teor

de ferro). A diferença para o processo FASTMELT está na última zona da fornalha rotativa, onde a temperatura é elevada, fundindo o minério de ferro e permitindo que ele se separe facilmente das impurezas. Como resultado, tem-se uma pepita de ferro contendo basicamente ferro e carbono, praticamente livre de oxigênio e escória (EPA, 2012).

Características principais:

- Baixos custos de investimento e operação.
- Alta confiabilidade operacional.
- 30% de economia de energia quando comparada com usinas integradas.
- 10% de economia de energia quando comparada com FEAs tradicionais.
- Não necessita de fornos de coque e sistemas de aglomeração.
- Redução das emissões em até 40%.
- Reação de redução, fusão e remoção da escória são realizadas em apenas 10 minutos.
- Maior reciclagem de escória nos FEAs.

2.2.6.2.15 PROCESSO MIDREX A GÁS NATURAL COM SISTEMA DE CAPTURA DE CARBONO

O processo MIDREX é composto por um reformador responsável por converter gás natural em um gás de síntese de alta qualidade que é utilizado diretamente para a redução do minério de ferro em um forno de cuba.

Mesmo o sistema MIDREX já apresentando um decréscimo de 50% das emissões de CO₂, quando comparada com a rota de usinas integradas, alguns produtores ainda buscam reduções ainda mais significativas. Para isso, foi desenvolvido um novo conceito de MIDREX que utiliza uma configuração de remoção de CO₂ utilizando um sistema de amina que remove o dióxido de carbono dos gases de topo (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010).

Características principais:

- Menor consumo de energia nos FEAs. Cerca de 20 kWh/tonelada de aço líquido pode ser economizado para cada incremento de 100°C na temperatura de descarga do DRI. Assim, a redução energética na temperatura de operação do MIDREX (600°C) gera uma economia de 120 kWh/tonelada.
- Redução de até 47% nas emissões quando comparado a usinas integradas.
- Redução de 250 kgCO₂/tonelada de DRI

Segundo (IEA, 2010), as emissões do processo MIDREX podem ser da ordem de 650 kgCO₂/ tonelada

2.2.6.3 PRODUÇÃO DE AÇO

2.2.6.3.1 CONVERSORES A OXIGÊNIO (BASIC OXYGEN FURNACE - BOF)

O gás do conversor de oxigênio e a recuperação de calor sensível é a maneira mais eficiente de se economizar energia nessa etapa do processo, transformando o BOF em um produtor líquido de energia. Através da redução da quantidade de ar no conversor, o monóxido de carbono não é convertido em dióxido (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010)

O calor sensível do gás de exaustão é, primeiramente, recuperado em uma caldeira de recuperação, produzindo vapor de alta pressão.

Características principais:

- Economia energética variando entre 535 a 916 MJ/tonelada de aço, dependendo da maneira como o calor é recuperado, com um incremento de potência de 2 kWh/tonelada, o total de economia de energia primária é de 136%.
- Redução nas emissões de CO₂ de 12,55 kg/tonelada de aço bruto.
- Investimento de US\$20/tonelada de aço bruto e incremento dos custos operacionais.

2.2.6.3.2 AUTOMATIZAÇÃO E CONTROLE DO CONVERSOR A OXIGÊNIO

A inclusão de sistema de automação e controle do processo do conversor a oxigênio pode produzir ganhos significativos (EPA, 2012).

Características principais:

- Aumento da produtividade e qualidade do produto.
- Redução dos custos de mão-de-obra.

2.2.6.3.3 SISTEMAS DE CONTORNO A LASER (LASER CONTOURING SYSTEM – LCS)

Os sistemas LCS permitem rápidas medições das paredes do vaso e da espessura inferior na fornalha de aço, fornecendo informações detalhadas da altura do banho, permitindo a otimização do processo.

Características principais:

- Redução do uso de energia através das medições obtidas e otimização do processo.
- Redução do custo de manutenção do BOF.

- LCS – Painéis: Aumento da vida do equipamento em 5% e economia de 0,04 US\$/tonelada de aço produzida.
- LCS – Conversores: Redução do tempo de operação em 15 minutos por dia, aumentando a produtividade dos fornos.

2.2.6.3.4 Fornos Elétricos a Arco

2.2.6.3.4.1 Controle do Processo por Redes Neurais

O controle do processo utilizando software de redes neurais e lógica *fuzzy* permite a redução do consumo de energia elétrica (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010).

Características principais:

- Redução de 30 kWh/tonelada de aço.
- Aumento da produtividade do forno entre 9 e 12%
- Redução do consumo dos eletrodos em 25%
- Custos de investimento de 0,95 US\$/tonelada de aço.
- Redução nos custos de manutenção em 1 US\$/tonelada de aço.

2.2.6.3.4.2 Queimadores Oxy-Fuel

O uso de queimadores *oxy-fuel* em FEAs permite a redução do consumo de energia devido aos seguintes aspectos: (1) redução do tempo de aquecimento, economizando de 2 a 3 kWh/tonelada/minuto de espera. (2) Aumento da transferência de calor durante o processo de refino do aço. (3) Facilita a formação de espuma na escória, aumentando a eficiência do uso de oxigênio e injeção de carbono.

Muito cuidado deve ser dado à utilização de queimadores a oxigênio, de forma a não aumentar o consumo de energia total do forno e emissões de gases de efeito estufa.

Características principais (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010):

- Economia de energia de 0,14 GJ/tonelada de aço bruto.
- Custo de investimento de 4,8 US\$/tonelada de aço bruto.
- Redução do tempo de “*tap-to-tap*” do forno em aproximadamente 6%, gerando reduções anuais de 4 US\$/tonelada de aço bruto.

2.2.6.3.4.3 Preaquecimento da Sucata

O preaquecimento da sucata pode reduzir o consumo de eletricidade dos fornos elétricos a arco. Inúmeros sistemas vêm sendo desenvolvidos nos EUA e Europa para otimizar essa tecnologia, entre eles estão: *Consteel tunnel-type preheater*, *Fuchs Finger Shaft*, *Fuchs Twin Shaft* e *Post Combustion Shaft Furnace* (SIMETAL) (EPA, 2012).

Todos os sistemas são desenvolvidos para serem utilizados em usinas novas ou já existentes.

Características principais do *Consteel*:

- Aumento da produtividade em 33%.
- Redução do consumo dos eletrodos em 40%.
- Redução de emissões na ordem de 30%
- Redução do consumo de eletricidade em 60 kWh/t para *retrofits*
- Custos de operação anual na faixa de 1,9 US\$/tonelada de aço bruto
- Custo de investimento do *retrofit* de 4,4 a 5,5 US\$/tonelada de aço

Características principais do SIMETAL:

- Economia de eletricidade de 120 kWh/tonelada de aço.
- Custo de operação anual de 4.5/t (excluído a energia economizada).
- Custo de investimento no *retrofit* de 6 US\$/tonelada de aço bruto.
- Redução do consumo dos eletrodos.
- Aumento da produtividade em 20%.

2.2.6.3.5 NOVOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO UTILIZANDO ENERGIA PRIMÁRIA

Consiste na utilização de energia primária de maneira eficiente para auxiliar a produção de calor nas etapas de aquecimento e fusão do aço no FEA. Novos FEAs estão sendo desenvolvidos visando reduzir o consumo de energia primária em até 32% quando comparado com FEAs tradicionais (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010).

Hot DRI

Consiste no preaquecimento do DRI antes de sua injeção no EAF. Ao alimentar o forno com um DRI preaquecido à temperatura de 600°C estima-se que 150 kWh/tonelada (0,5 GJ/tonelada) de aço bruto possa ser economizado quando comparado à injeção do DRI a frio tradicionais (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010).

Características principais:

- Redução do consumo de energia.

- Aumento da produtividade.
- Aumento do teor de carbono na carga.

2.2.6.3.5.1 ECOARC

O sistema desenvolvido pela *JSP Steel Plantech*, chamado ECOARC, busca reduzir o custo de operação dos EAFs bem como as emissões geradas pelo mesmo tradicionais (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010).

Características principais:

- Redução no consumo de 200 kWh/tonelada de aço.
- Redução do consumo dos eletrodos
- Menores custos para a flexibilização do uso de mistura de escória.
- Redução das emissões de CO₂.

2.2.6.4 MANUFATURA DO AÇO

2.2.6.4.1 CASTRIP

Desenvolvido para reduzir o consumo de energia nos processos de moldagem do aço. Características principais tradicionais (Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate, 2010).

- Redução do consumo de energia de até 90% quando comparado com os processos de laminação a quente tradicionais.

2.2.6.5 RESUMO: PRINCIPAIS MEDIDAS DE AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Conforme já citado anteriormente, a descrição detalhada de todas as melhores tecnologias disponíveis pesquisadas iria aumentar consideravelmente o volume do relatório, assim, optou-se por descrever apenas algumas onde o grau de informação oferecido era maior.

Entretanto, todas as medidas tecnológicas analisadas foram compiladas em duas tabelas resumo. Deve-se mencionar que a seleção das melhores tecnologias disponíveis depende de uma análise integrada, uma vez que a adoção de determinadas medidas pode resultar na exclusão de outras, não existindo uma superposição dos ganhos mensurados para cada medida de mitigação. Portanto a identificação das tecnologias mais recomendadas é um processo de otimização complexo, gerando resultados diferentes em função das características do parque industrial analisado, do custo dos combustíveis e de adoção das medidas.

A Tabela 40 mostra as economias relativas à implementação de cada BAT disponível para a rota de usinas integradas, seus custos de investimento e de operação.

Na Tabela 41 são apresentadas as BATs em rotas de usinas semi-integradas operando com FEAs.

Tabela 40: Informações Técnicas das BATs para a rota de Alto-forno

Etapa	Tecnologia	Redução de CO ₂ [kgCO ₂ /t produto]	Redução de Combustível [GJ/t de produto]	Redução de Eletricidade [GJ/t de produto]	Custo de Operação Anual [US\$/t de produto] ²³	Custo de Investimento [US\$/t de produto]
Prep. De Materiais - Sinterização	Recuperação de calor na planta de sinter	57,2	0,55	0	0	4,7
	Redução dos vazamentos de ar	2	0	0	0	0,14
	Aumento da profundidade do leito do forno	9,9	0,09	0	0	0
	Melhora do controle de processo	5	0,05	0	0	0,21
	Uso de resíduos combustíveis	19,5	0,18	0	0	0,29
	Melhora do carregamento do forno	-	-	-	-	-
	Aumento da eficiência de ignição do forno	-	-	-	2,5	2,4
Produção do Coque	Controle da Umidade de Coque	6,7	0,3	0	0	76,6
	Aquecimento programado	3,8	0,17	0	0	0,37
	Compressor de velocidade variável	0,12	0	0	0	0,47
	Arrefecimento de coque a seco	27,5	1,2	0	0,78	109,5
	Uso adicional de COG	-	-	-	-	-
	Sistema de Câmara Única	-	-	-	-	-

²³ Destaca-se que os custos de instalação em usinas já em operação são diferentes dos custos de novos projetos, tornando a avaliação é mais complexa. Assim, a conformação tecnológica ou espacial dos processos pode tornar algumas tecnologias citadas econômica ou mesmo tecnicamente inviáveis. Porte e parâmetros técnicos de operação de equipamentos já em operação podem impossibilitar ou tornar complexas as adequações necessárias para introdução algumas tecnologias listadas. Além disso, o custo de determinadas tecnologias sem incentivos, além das taxas de juros para financiamento no país ainda serem bem elevadas, podem dificultar o aporte de investimentos, principalmente em cenário de elevada ociosidade da capacidade de produção.

Etapa	Tecnologia	Redução de CO ₂ [kgCO ₂ /t produto]	Redução de Combustível [GJ/t de produto]	Redução de Eletricidade [GJ/t de produto]	Custo de Operação Anual [US\$/t de produto] ²³	Custo de Investimento [US\$/t de produto]
Produção de Ferro - Alto Forno	Fornos de Recuperação de Calor (non-coking)	-	-	-	-	-
	Injeção de Carvão Pulverizado 130 kg/ton ferro	47	0,77	0	-3,1	11
	Injeção de Carvão Pulverizado 225 kg/ton ferro	34,7	0,57	0	-1,6	8,1
	Injeção de Gás Natural 140 kg/t ferro	54,9	0,9	0	-3,1	7,8
	Injeção de Óleo	-	-	-	-	-
	Injeção de gás de coqueria e gás de BOF	-	-	-	-	-
	Top Pressure Recovery Turbines	17,6	0	0,11	0	31,3
	Recuperação de gás de topo	4	0,07	0	0	0,47
	Automatização dos sopradores de ar quente	22,6	0,37	0	0	0,47
	Recuperação de calor nos fornos de ar quente	4,9	0,08	0	0	2,2
	Combustão avançada em fornos de ar quente	-	-	-	-	-
	Sistemas de Controle Avançados do Alto Forno	24,4	0,4	0	0	0,56
	Recirculação de gás de alto-forno	-	-	-	-	-
Produção de Aço - Conversos a Oxigênio	Recuperação de Calor da Escória	-	-	-	-	-
	Recuperação de calor sensível do conversor de oxigênio	46	0,92	0	0	35,4
	Drive de velocidade variável nos ventiladores	0,51	0	0,003	0	0,31
Moldagem	Melhora do monitoramento e controle	-	-	-	-	-
	Aquecimento eficiente da moldagem	1,1	0,02	0	0	0,09
	Formação quase nítida - thin slab	728,8	3,5	0,64	-54,8	234,9

Etapa	Tecnologia	Redução de CO ₂ [kgCO ₂ /t produto]	Redução de Combustível [GJ/t de produto]	Redução de Eletricidade [GJ/t de produto]	Custo de Operação Anual [US\$/t de produto] ²³	Custo de Investimento [US\$/t de produto]
Laminação à Quente	Cargas aquecidas	30,2	0,6	0	-2,1	23,51,1
	Controle de processo no strip mill	15,1	0,3	0	0	3,9
	Queimadores regenerativos	35,2	0,7	0	0	-
	Queimadores sem chama	60%	60%	-	-	15,6
	Insulação dos fornos	8	0,16	0	-	0,79
	Controle do nível de Oxigênio	16,6	0,33	0	-	-
	Recuperação de calor residual	1,9	0,03	0	0,11	1,3
Laminação a Frio	Recuperação de calor na linha de anelamento	17,5	0,3	0,02	0	4,2
	Redução do uso de vapor	9,9	0,19	0	0	4,4
	Sistema de automação	35,3	0	0,21	0	1,7
	Manutenção Preventiva	35,7	0,43	0,02	0,03	0,02
Geral	Monitoramento do consumo energético	9,5	0,11	0,01	0	0,23
	Sistemas de produção de potência e calor	82,1	0,03	0,35	0	22,7

Fonte: Adaptado de EPA (2012).

Tabela 41: Informações Técnicas das BATs para a rota de Alto-Fornos Elétricos a Arco

Etapa	Tecnologia	Redução de CO ₂ [kgCO ₂ /t produto]	Redução de Combustível [GJ/t de produto]	Redução de Eletricidade [GJ/t de produto]	Custo de Operação Anual [US\$/t de produto]	Custo de Investimento [US\$/t de produto]
Produção de Ferro - Forno Elétrico a Arco	Controle avançado de processo (redes neurais)	17,6	0	0,11	-1,6	1,5
	Drivers de velocidade variável	-	-	0,05	-	2
	Transformadores de alta eficiência	10	0	0,06	0	4,3
	Injeção de gás na parte inferior	11,7	0	0,07	-3,1	0,94
	Escória espumante	10,6	0	0,07	-2,8	15,6
	Combustores Oxy-Fuel	23,5	0	0,14	-6,2	7,5
	Pós combustão dos gases de chaminé	-	-	-	-	-
	Fornalha com arco de corrente contínua	52,9	0	0,32	-3,9	6,1
	Pré aquecimento da sucata (Consteel)	35,2	0	0,22	-3	7,8
	Pré aquecimento da sucata (Fuchs)	35,3	-0,7	0,43	-6,2	9,4
	Monitoramento dos gases de escape	8,8	0	0,05	0	3,1
	Tapping inferior Excentrico	8,8	0	0,05	0	5
Moldagem	Fornalha de carcaça dupla - DC - com preaquecimento	11,1	0	0,07	-1,7	9,4
	Aquecimento eficiente da moldagem	1,1	0,02	0	0	0,09
	Formação quase nítida - thin slab	265,3	3,2	0,64	-54,8	234,8
	Drives de aumento da eficiência energética	1,6	0	0,01	0	0,3
Laminação à Quente	Controle do processo	15,1	0,3	0	0	1,1
	Queimadores regenerativos	35,2	0,7	0	0	3,9

Etapa	Tecnologia	Redução de CO ₂ [kgCO ₂ /t produto]	Redução de Combustível [GJ/t de produto]	Redução de Eletricidade [GJ/t de produto]	Custo de Operação Anual [US\$/t de produto]	Custo de Investimento [US\$/t de produto]
Geral	Queimadores sem chama	60%	60%	-	-	-
	Insulação dos fornos	8,1	0,16	0	15,7	0,79
	Controle do nível de oxigênio	16,6	0,33	0	0	-
	Recuperação de calor residual	1,9	0,03	0	0,11	1,3
	Manutenção Preventiva	15	0,09	0,05	0,03	0,02
	Monitoramento de energia	3,7	0,02	0,01	0	0,23

Fonte: Adaptado de EPA (2012).

A indústria siderúrgica brasileira se encontra operando com grande capacidade ociosa, diretamente associada ao momento econômico vivido pelo país. Ademais, o parque industrial possui instalações relativamente novas (entre 1990 e 2003 a produção de aço no país aumentou em 50%), essa característica combinada com a alta ociosidade atual aponta para uma demora na retomada de investimentos em capacidade instalada, mesmo num momento de retomada de crescimento econômico do país. Logo, a siderurgia nacional tenderia a apresentar barreiras na adoção de medidas disruptivas.

Medidas mais simples, e de menor impacto, como medidas básicas de gestão energética e sistemas de monitoramento, uso de sistemas de manutenção preventiva, adoção de drivers de velocidade variável para motores, podem ser estimuladas na indústria siderúrgica brasileira para a redução dos custos de produção. Entretanto, deve-se sempre levar em conta as limitações financeiras para investimento próprio que as empresas do setor enfrentam atualmente.

Medidas mais capital intensivas, como adoção de CDQs (*coke dry quenching*), sistemas de controle da umidade, turbinas de topo (TRT), recuperação de calor para produção de eletricidade, etc., em geral não apresentam retornos rápidos e demandam linhas de financiamento incentivadas, reduzindo, portanto, sua taxa de penetração na indústria.

Deve-se novamente destacar a complexa situação da siderurgia brasileira no atual momento, onde a demanda interna de aço recuou devido à situação econômica do país e o número de importações de aço cresceu, reduzindo o faturamento das empresas brasileiras e dificultando ainda mais o aporte de recursos em medidas de eficiência capital intensivas.

2.2.7 ALUMÍNIO²⁴

A participação da tecnologia *Soderberg* na produção de alumínio primário no Brasil é de 40% do total, e a participação da tecnologia *Prebake* (ou anodos pré-cozidos) de 60%. O consumo específico da tecnologia *Soderberg* no Brasil é em média 59,76 GJ de energia elétrica por tonelada de alumínio primário, e o consumo específico da tecnologia *Prebake* 51,55 GJ de energia elétrica por tonelada de alumínio primário produzido (ABAL, 2011). Com esses valores, verifica-se que a substituição de *smelters* do tipo *Soderberg* para *Prebake* já poderia significar uma redução considerável no consumo de energia no setor, uma vez que cerca de 40% da produção total opera com fornos *Soderberg* cerca de 15% menos eficientes que os *Prebake*.

As tecnologias típicas utilizadas na indústria de alumínio brasileira são mostradas no Quadro 1.

Quadro 1: Tecnologias Atuais do Setor de Alumínio Primário

Alumínio
Cubas Eletrolíticas - Soderberg
Cubas Eletrolíticas - Prebake
Caldeiras a óleo
Caldeira a gás natural

Fonte: ABAL (2017).

As tecnologias típicas utilizadas na indústria do alumínio primário consideradas como potenciais para redução das emissões e aumento da eficiência energética para o Brasil são apresentadas no Quadro 2. – Conforme o estudo “Opções de Mitigação”, deve-se ressaltar que a seleção das melhores tecnologias de controle disponíveis depende de uma análise integrada, pois determinadas medidas podem fazer com que a adoção de outras seja inviável, não existindo uma superposição dos ganhos mensurados para cada medida de mitigação. Portanto a identificação das tecnologias de controle mais recomendadas é um processo de otimização complexo. As medidas apresentadas a seguir foram aquelas contempladas no projeto “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chaves do Brasil”.

²⁴ Texto utilizou o estudo desenvolvido no projeto “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave no Brasil” – BRASIL (2017b).

Quadro 2: Tecnologias para redução de consumo energético e de controle de emissões do setor de Alumínio

Medidas de Mitigação
Controle de motores e inversores de frequência
Caldeiras a gás natural
Troca de Smelter Soderberg por Prebake
Otimização da utilização dos anodos
Otimização do fluxo de ar da Combustão
Controle de pressão em fornos
Isolamento em fornos
Recuperação de calor

Fonte: Retirado de Kermeli, Weer, & Crijns-Graus (2014).

Tabela 42: Potenciais de Conservação de Energia e Custos das Medidas

Medida	Potencial de Redução do Consumo de Combustível	Custo US\$/t alumínio (implementação)
Otimização da utilização dos anodos	2 MWh/t alu (eletricidade)	325
Otimização do fluxo de ar da Combustão	10-25%	3
Controle de pressão em fornos	5-10%	1,5
Isolamento em fornos	2-5%	0,5
Recuperação de calor	10-30%	10
Controle de motores e inversores de frequência	0,1 MWh/t alu(eletricidade)	7

Fonte: Retirado de Kermeli, Weer, & Crijns-Graus (2014).

Além das medidas de eficiência energética típicas, como melhoras de sistemas de isolamento, drivers de velocidade variável e adoção de sistemas de otimização, observa-se uma tendência no país de substituição de processos Sodeberg para Prebakes no país, indicando que o setor de alumínio no Brasil segue a tendência mundial de utilizar mais a rota com menor consumo energético, isto é, mais eficiente, apesar de a proporção de Prebake estar ainda consideravelmente inferior à proporção média mundial. Tal tendência demanda a construção de nova planta.

2.3 DISCUSSÕES FINAIS

Os números apresentados nesse relatório indicam a relevância de determinados subsetores industriais nas emissões de gases de efeito estufa, sendo o subsetor de Ferro-Gusa e Aço o mais carbono-intensivo daqueles analisados (deve-se reforçar que esse relatório não contemplou todos os subsetores industriais brasileiros). As emissões totais dos subsetores aqui analisados somaram 115.869 GgCO₂, onde 61% dessas emissões são provenientes dos processos industriais, enquanto 39% são oriundas do uso de energéticos.

O subsetor de ferro-gusa e aço é responsável por 38% do total das emissões dos setores estudados, seguido por Cimento (31%) e Química (15%). Portanto, apenas três subsetores são responsáveis por quase 85% das emissões da indústria analisados.

Em termos de emissões de processo, novamente o subsetor de Ferro-Gusa e Aço é destacado, atingindo mais da metade das emissões contabilizadas, 51%. Seguido diretamente pelo subsetor de Cimento, 30%. Os maiores emissores energéticos são Química (31%) e Cimento (32%).

A redução das emissões de processo, em geral, se mostra uma tarefa mais árdua do que a redução de emissões de energéticos, uma vez que envolve mudanças mais significativas no processo produtivo e alterações estruturais (referente ao uso de outras rotas de produção). Um exemplo importante é o uso do carvão vegetal na siderurgia, capaz de reduzir de forma significativas as emissões de processo, pois substitui o uso do coque de carvão como agente redutor por carvão vegetal, ou a adoção de uma maior proporção de fornos elétrico a arco na siderurgia brasileira, que reduziria as emissões de processo das rotas integradas a carvão mineral em detrimento de um aumento nas emissões de energia dos fornos elétricos a arco (aumento este compensatório devido ao baixo fator de emissão do grid elétrico nacional).

Ressalta-se que o aumento da participação da rota de fornos elétricos (minimills) depende diretamente da disponibilidade de sucata no mercado e, por consequência, do consumo de aço no país. Não há previsão, no médio prazo, de que o consumo de aço no país proporcionará o aumento da geração de sucata e, com isso, a maior participação da rota de fornos elétricos na produção de aço no Brasil. Nesse sentido, não há viabilidade para que a produção de aço via rota integrada a carvão vegetal alcance a mesma escala de produção da rota integrada a coque, por restrições tecnológicas relacionadas à resistência mecânica da matéria-prima e porte dos altos fornos. Além disso, a rota de carvão vegetal depende da disponibilidade das florestas em raio econômico, portanto existe uma certa limitação da rota a carvão vegetal.

As emissões de energia podem ser mitigadas a partir do uso de combustíveis mais limpos e melhora na eficiência energética da indústria, podendo ser aplicadas através de soluções simples (como sistemas de gestão energética, melhoras de sistemas de controle, etc.) ou de soluções altamente sofisticadas envolvendo ajustes mais severos na linha de produção.

Finalmente, no futuro, as emissões industriais dos setores mais carbono intensivos poderiam ser drasticamente reduzidas pela adoção de sistemas de captura de carbono (nos subsetores de Ferro-Gusa e Aço, Cimento e Químico), entretanto essa solução envolve altos custos de investimento e significativos ajustes na infraestrutura das fábricas.

Dentre o amplo conjunto de medidas apresentadas nesse documento, foi selecionado um grupo menor, conforme mostrado na Tabela 43. Essas medidas foram aquelas selecionadas para a modelagem setorial projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em Setores-Chave do Brasil”. Os custos marginais de abatimento obtidos para os subsetores de Alumínio, Cimento, Ferro-Gusa e Aço, Química e Papel e Celulose também são apresentados.

Tabela 43: Medidas de Mitigação e Custos de Abatimento Calculados

Medida	Custo de Abatimento [USD/ton CO ₂]
Alumínio	
Isolamento fornos	-0,67
Controles e inversores	-0,43
Troca Smelter	-0,28
Otimização Fluxo Combustão	0,02
Controle pressão fornos	0,04
Recuperação de Calor	0,09
Otimização anodos	0,55
Minerais Não-Metálicos	
MP não carbonatada	-69,30
Refratário no forno	-63,60
Controle e Otimização de Processos	-63,00
Melhorias no sistema de combustão	-47,30
Refrigeradores de grelha de alta eficiência	44,30
Aumento do número de estágios ciclone	80,00
Ferro-Gusa e Aço	
Sistema de Controle Avançado	-330,35
Preaquec. Scrap	-281,49
UTE Avançada	-247,92
Drives dos Ventiladores	-231,35
Queimadores Oxy Fuel	-132,39
Recup. de Calor Sensível BOF	-110,74

Medida	Custo de Abatimento [USD/ton CO ₂]
Recup de Calor das Fonalhas	-31,38
Injec. Carvão Pulverizado - 225	-20,32
Coke Dry Quenching	-14,19
Recup de Calor Residual Sinter	24,74
Top Pressure Recovery Turbine (TRT)	50,22
Controle da Umidade do Carvão	150,07
Química	
Recuperação de H ₂ na produção de metanol	-14,00
Adoção de biomassa em fornos	-13,00
Recuperação de calor em caldeiras	-11,00
Melhoria de sistemas de caldeiras	-10,00
Adoção de biomassa em caldeiras	-2,00
Adoção de queimadores Low Nox em fornos	-1,00
Pré-reformador na produção de amônia	-1,00
Melhoria de sistemas motores	7,00
Adoção de gás natural em caldeiras	9,00
Pré-reformador na produção de metanol	10,00
Adoção de gás natural em fornos	14,00
Recuperação de H ₂ na produção de amônia	27,00
Reciclo de Condensado	31,00
Integração de processos na PQ básica	87,00
Integração de processos na prod. de amônia	89,00
Papel e Celulose	
Manutenção da Caldeira de Papel	-88,36
Manutenção da Caldeira Auxiliar	-72,22
Caldeira de Papel com Controle de Processo	-70,91
Caldeira de Papel com Retorno de Condensado	-58,71
Caldeira de Papel com Recuperação de Vapor	-17,57
Secadores CondeBelt	0,37
Prensas mais Eficientes	69,60
Modificações no Forno de Cal	157,63
Caldeira Auxiliar com Controle de Processo	171,98

Medida	Custo de Abatimento [USD/ton CO ₂]
Caldeira Auxiliar com Retorno de Condensado	226,18
Caldeira Auxiliar com Recuperação de Vapor	640,70

Fonte: Elaboração própria.

A implementação das medidas de mitigação pode promover, além da mitigação da mudança climática, inúmeras vantagens em nível local e no curto prazo, resultando, por exemplo, em melhorias da qualidade do ar, ecossistemas e economia (NEMET ET AL. 2010). Estes efeitos associados são conhecidos como co-benefícios. Dentre os co-benefícios mais importantes das medidas de mitigação das mudanças climáticas, podem-se citar os associados à melhoria da qualidade do ar em meios urbanos e seus impactos positivos na saúde humana e nos ecossistemas. Embora não sejam questões usualmente avaliadas em conjunto, a poluição atmosférica local e as mudanças climáticas estão fortemente relacionadas através de processos químicos, radiativos e dinâmicos na atmosfera (US EPA 2009).

Diversos poluentes atmosféricos alteram o forçamento radiativo contribuindo com o aquecimento da atmosfera (pela emissão de carbono negro e metano, por exemplo), bem como com seu resfriamento (pela emissão de dióxido de enxofre, que produz aerossóis sulfato). Além disso, os mesmos comprometem o funcionamento dos sistemas naturais e agrícolas, alterando o crescimento das culturas vegetais, o ciclo do carbono e nitrogênio, entre outros (RADU ET AL. 2016). Por outro lado, as mudanças climáticas também influenciam a poluição atmosférica local, provocando mudanças meteorológicas, no regime de ventos e precipitação e alterando as transformações químicas, transporte, distribuição, dispersão e deposição de poluentes atmosféricos (BYTNEROWICZ ET AL. 2007).

Por estas razões, políticas climáticas são capazes de reduzir a poluição atmosférica local e regional de modo a dispensar ou reduzir investimentos em tecnologias para controle da poluição, reduzindo seus custos de abatimento. Todavia, existe uma diferença na escala temporal e espacial dos efeitos das medidas de mitigação climática e poluição atmosférica local. Enquanto a última possui impactos locais em um curto prazo, a primeira possui impactos globais só percebidos no longo prazo. Assim, os resultados dos esforços para controle da poluição atmosférica são percebidos mais rapidamente do que no caso das mudanças climáticas, que requerem um longo período de tempo para alcançar benefícios globais (SMITH ET AL. 2014). Neste sentido, torna-se pertinente avaliar os benefícios colaterais da implementação de medidas de baixo carbono, relativamente à melhoria de qualidade do ar no Brasil. Mesmo que algumas tecnologias de baixo carbono apresentem um custo de implementação superior às tecnologias convencionais, as vantagens de curto prazo em escala local podem justificar per se a sua implementação.

Sendo assim, o estudo “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores Chave do Brasil” (Schaeffer et al., 2017) buscou avaliar os co-benefícios ambientais locais decorrentes dos resultados

obtidos na etapa de modelagem integrada do sistema energético, através de uma simulação no modelo GAINS-Brasil, no período de 2015 a 2050. Os resultados mostraram expressivas reduções nas emissões de SO₂, bem como emissões reduzidas de NO_x e PM₁₀ para os cenários de baixo carbono em relação ao cenário linha de base. Isto se deu, pois, os cenários de baixo carbono apresentam ganhos de eficiência nas tecnologias utilizadas. Somente por este motivo, espera-se um menor volume de emissões mesmo na ausência de tecnologias de controle.

Desta forma, as alternativas de mitigação consideradas têm o potencial de gerar benefícios para o meio ambiente à nível local e para a saúde humana. Tais co-benefícios podem compensar os custos das medidas de mudanças climáticas, se monetizados de maneira apropriada. Por este motivo, o abatimento da poluição atmosférica local representa um incentivo adicional para a adoção de esforços expressivos para mitigação de GEE. Contudo, considerando-se as diferenças espaciais e temporais entre os efeitos de medidas para mitigação das mudanças climáticas e controle da poluição atmosférica, é necessário tratar estas questões através de uma abordagem integrada, capaz de avaliar simultaneamente seus diferentes aspectos.

Apesar de algumas medidas parecerem atraentes, do ponto de vista do custo de abatimento, não se pode ter certeza de que serão aplicadas, isso se deve a existência de barreiras que existem para a adoção dessas medidas. Barreiras são alguns fatores que impedem ou dificultam a realização de uma determinada medida potencial, neste caso, medidas de mitigação. Essas barreiras não são somente financeiras e tecnológicas, podendo ser barreiras de mercado, comportamentais e até de informação. Para alcançar o potencial desejado é importante que existam políticas específicas para cada área que consigam transpor essas barreiras existentes (IIASA, 2012). Ressalta-se também que há barreiras físicas, como layout e/ou falta de espaço. Ademais, as usinas siderúrgicas dependem do final de vida útil de seus equipamentos para a implantação de novas tecnologias.

2.4 REFERÊNCIAS

- ABAL., 2011. Associação Brasileira do Alumínio.
- ABPC., 2015. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL. Fonte: www.abpc.org.br
- ABRAHAMSON, K.; STENSTROM, S.; ALY G; JERNQUIST A., 1997. Application of Heat Pump Systems for Energy Conservation in Paper Drying. *International Journal of Energy Research*.
- ABVIDRO., 2007. Anuário da ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO.
- AEA., 2011. Review of technical information on renewable heat technologies. Disponível em: http://www.rhincenive.co.uk/library/regulation/1103AEA_Update.pdf. Acesso em: 21 ago. 2015.
- APP, 2008. *Asian-Pacific Partnership. Energy Efficiency and Resource Saving Technologies in Cement Industry.* Cement Task Force. Disponível em http://asiapacificpartnership.org/pdf/Projects/Cement/APP_Booklet_of_Cement_Technology.pdf. Acesso em 15 de outubro de 2014.
- ARASTO, A., TSUPARI, E., KARKI, J., SIHVONEN, M., LILJA, J., 2013. Costs and potential of carbon capture and storage at an integrated steel mill. *Energy Procedia*. Finland, 2013.
- ASIA-PACIFIC PARTNERSHIP FOR CLEAN DEVELOPMENT AND CLIMATE, 2010. *The State-of-the-Art Clean Technologies for Steelmaking Handbook*.
- BAEN, P. R.; BARTH, R. E., 1994. *Insulate Heat Tracing Systems Correctly*. Chemical Engineering Progress.
- BAIN & COMPANY, 2014. Estudo do Potencial de Diversificação da Indústria Química Brasileira - Relatório Final. Bain & Company e Gas Energy, via fundo de estruturação de projetos do BNDES, São Paulo.
- BEN, 2012. Balanço Energético Nacional. Empresa de Pesquisa Energética- EPE. Relatório Final, 2012.
- BERNART Jr., L. G., 2015. Gerente de Energia. (INT, Entrevistador), 19 de novembro de 2015.
- BEST PRACTICE PROGRAMME, 1996. Good Practice Case Study 300: Energy Savings by Reducing the Size of a Pump Impeller.
- CADDET - Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies, 1997. Saving Energy with Efficient Compressed Air Systems. Maxi Brochure 06.
- CDM, 2009. Clean Development Mechanism. Project Design Document Form (CDM-PDD). Nanning Shizuo Non-Carbonated Raw Material for Cement Production Renovation Project. Disponível em <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1218618890.63/view>. Acesso em 15 de outubro de 2014.
- CEC - California Energy Commission, 2002. Case Study: Pump System Controls Upgrade Saves Energy at a Network Equipment Manufacturing Company's Corporate Campus. Sacramento, California.
- CEFIC., 2013. Ecofys. *European chemistry for growth: unlocking a competitive, low carbon and energy efficient future*. Disponível em: <http://www.cefic.org/Documents/PolicyCentre/Energy-Roadmap-The%20Report-Europeanchemistry-for-growth.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2015.
- CETC - Canmet Energy Technology Centre, 2002. Pulp & Paper Case Study. Process Integration. Heat Recovery Opportunities at the Smurfit-Stone Mill in La Tuque. CANMET Energy Technology Center – Varennes, Canada.

CGEE, 2010. *Química verde no Brasil: 2010-2030*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, DF.

CHIMACK, M.J.; WALKER C.E.; MILLER R., 2003 *Energy Conservation Opportunities in the Pulp and Paper Industry*. Paper presented at the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry 2003 Sustainability and Industry: Increasing Energy Efficiency and Reducing Emissions.

CII – Confederation of Indian Industry, 2008. *National Best Practices Manual Pulp and Paper Industry*. India.

CIPEC - Canadian Industry Program for Energy Conservation, 2008. *CIPEC Newsletter*, 15 de abril de 2008, Vol. XII, No. 8. Industrial Processes. Pulp and Paper, Process Integration.

CNI., 2010. *Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria - Cal e Gesso*.

CNI., 2010. *Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria - Vidro*.

CSI, 2012. Cement Sustainability Initiative. Disponível em <<http://www.wbcsdcement.org/>> Acesso em 20 de maio de 2014.

CSI/ECRA, 2009. Cement Sustainability Initiative. European Cement Research Academy. *Development of State of the Art- Techniques in Cement Manufacturing: Trying to Look Ahead*. Genebra, 2009.

CSLFORUM, 2015. A Report on CO2 Utilization Technologies Assessment in China. Disponível em: <http://www.csforum.org/>. Acesso em Setembro de 2015.

DE BEER, J.G.; VAN WEES; M.T., WORRELL, E.; BLOK, K., 1994. *Icarus-3: The Potential of Energy Efficiency Improvements in the Netherlands up to 2000 and 2015*. Utrecht University, Department of Science, Technology and Society. Utrecht, The Netherlands.

EIPPCB., 2013. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production*. Joint Research Centre.

ELAAHI, A.; LOWITT, H.E., 1988. *The U.S. Pulp and Paper Industry: An Energy Perspective*. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy.

ELEMENT ENERGY, 2014. *A techno-economic study of the potential for CO2 capture and utilisation in UK energy intensive industries in the period to 2025*. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/311482/Element_Energy_DECC_BIS_Industrial_CCS_and_CCU_final_report_14052014.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2015.

EPA., 2012. *Available and emerging technologies for reducing greenhouse gas emissions from the iron and steel industry*. United States Environmental Protection Agency.

EPE - Empresa de Planejamento Energético, 2014. Nota técnica de 12/14 Cenário econômico 2050. *Série Estudos Econômicos*. Rio de Janeiro/RJ.

EPE., 2015. *Balanço Energético Nacional*. Rio de Janeiro.

EUROPEAN COMMISSION, 2014. Top Gas Recycling Blast Furnace Process. ULCOS TGRBF. Bruxelas, 2014.

FLSMIDTH, 2006. Cement Plant Pyro-technology, presentation to the IEA-WBCSD. Workshop “Energy Efficiency and CO2 Emission Reduction Potentials and Policies in the Cement Industry”, IEA, Paris, France, September 2006.

FOCUS ON ENERGY, 2006. *Pulp and Paper Energy Best Practice Guidebook*. Madison, Wisconsin.

FUJIMOTO, S., 1993. Modern Technology Impact on Power Usage in Cement Plants, Proc. 35th IEEE Cement Industry Technical Conference, Toronto, Ontario, Canada, May 1993.

- GALITSKY, C.; CHANG, S.C.; WORRELL, E.; MASANET, E., 2005. *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pharmaceutical Industry: An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers*. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.
- GANAPATHY, V., 1994 *Understand Steam Generator Performance*. Chemical Engineering Progress.
- GECATS, 2010. *Roadmap for Catalysis Research in Germany*. Catalysis: a key technology for sustainable economic growth.
- HENRIQUES Jr., M. F. Potencial de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa pelo Uso de Energia no Setor Industrial Brasileiro – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.
- HOOEY, L., A. Tobiesen, J. Johns and S. Santos, 2013. "Techno-economic Study of an Integrated Steelworks Equipped with Oxygen Blast Furnace and CO₂ Capture." *Energy Procedia*, 37: 7139-7151.
- HOLDERBANK, 1993. Holderbank Consulting. *Present and Future Energy Use of Energy in the Cement and Concrete Industries in Canada*, CANMET, Ottawa, Ontario, Canada.
- HOLLAND, M., 2001. "AC DC Kilns," Proc. 2001 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Technical Conference, pp. 75- 84.
- HOLLINGSHEAD, A., VENTA, G., 2009. Carbon Dioxide Reduction Technology Effectiveness Assessment – Initial Evaluation," PCA R&D Series No. SN3125, Portland Cement Association, Skokie, IL. Id. Disponível em <http://www.cement.org/bookstore/profile.asp?store=&pagenum=&pos=0&catID=&id=16964>. Acesso em 15 de outubro de 2014.
- IASA, 2012. Global Energy Assessment: Toward a sustainable Future –Chapter 8, Industry. Laxenburg, Austria.
- IAC - Industrial Assessment Centers, 2008. Industrial Assessment Centers Database. Rutgers University, New Brunswick, New Jersey.
- IEA, 2014. *Roadmap de Tecnologia: Reduções de energia e GEE na indústria química via processos catalíticos*. Paris, France.
- IEA., 2008. *Energy Technology Perspectives 2050*.
- IEA., 2010. Cement Production. ETSAP – Energy Technology Systems Analysis Programme.
- IEA., 2010. Energy Technology System Analysis Program - Iron and Steel.
- IEA, 2012. Tracking Clean Energy Progress. Paris: International Energy Agency, 2012.
- IEA, 2008. - International Energy Agency, 2008. Energy Technology Perspectives 2008. Paris: IEA.IIP, 2014. Institute for Industrial Productivity. Acesso em Novembro de 2014, disponível em Industrial Efficiency Technology Database: <http://ietd.iipnetwork.org/>
- IIP, 2015. Institute for Industrial Productivity. Acesso em Agosto de 2015, disponível em Industrial Efficiency Technology Database: <http://ietd.iipnetwork.org/>
- IPPC - Integrated Pollution Prevention and Control, 2001. Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. Europa.
- JRC., 2010. Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. Europa.
- KERMELI, K.; WEER, P.-H.; CRIJNS-GRAUS, W. W., 2014. *Energy Efficiency Improvement and GHG abatement in the global production of primary aluminium*.

- KHAMLICHI, A.; THYBAUD, N., 2014. *Chemical conversion of CO₂: overview. Quantification of energy and environmental benefits and economic evaluation of three chemical routes. Study carried out for the ADEME (French Environment and Energy Management Agency) by ENEA Consulting and EReIE and the support of ICPEES (University of Strasbourg).*
- KRAMER, J. K.; MASANET, E.; XU, T.; WORREL, E., 2009. *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pulp and Paper Industry.* Environmental Energy Technologies Division - Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.
- LUCQUIAUD M.; GIBBINS J., 2010. Effective Retrofitting of Post-combustion CO₂ Capture to Coal-fired Power Plants and Insensitivity of CO₂ Abatement Costs to Base Plant Efficiency. *International Journal of Greenhouse Gas Control.*
- MARNERI, M.; FATTA, D.; PAPADOPOULOS, A.; LOIZIDOU, M., 2001. Implementation of the European IPPC Directive – *BAT Guidelines for the Cement Industry in Cyprus.* Chemical Engineering Department, National Technical University of Athens (NTUA).
- MARTIN, N.; ANGLANI, N.; EINSTEIN, D.; KHRUSHCH, M.; WORRELL, E.; PRICE, L. K., 2000. *Opportunities to Improve Energy Efficiency and Reduce Greenhouse Gas Emissions in the U.S. Pulp and Paper Industry.* Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.
- MCTI, 2015. *Terceiro inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa.*
- MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2010. *Nota Técnica Plano Indústria Papel e Celulose.* Brasília.
- MIOTTI, R., 2001. *Energy savings in mechanical pulping, Mechanical Pulping Course, Australian Pulp and Paper Institute, Monash University, Clayton, Victoria, Australia.*
- MME., 2010. *Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não-Metálicos.*
- MME., 2010. *Balanco de Energia Útil.*
- MORRIS, K.L. *Dryer Section Rebuild at Bowater Calhoun Lowers Steam Use, Ups Machine Speed. Pulp and Paper Magazine, October 1998. Miller Freeman Publications. San Francisco, California, 1998.*
- NATURAL RESOURCES CANADA, 2003. *Pinch Analysis: for the efficient use of energy, water and hydrogen.*
- NEDO – New Energy and Industrial Technology Development, 2008. *Global Warming Countmeasures: Japanese Technologies for Energy Savings/ GHG Emissions.* Japão.
- O'BRIEN, 1996. *Augusta Newsprint – A World Class Recycling Mill*, pamphlet reprinted from Paper Age.
- RADGEN, P.; E. BLAUSTEIN (Eds.), 2001. *Compressed Air Systems in the European Union, Energy, Emissions, Savings Potential and Policy Actions.* LOG_X Verlag, GmbH, Stuttgart, Alemanha.
- REN, T., 2009, *Petrochemicals from Oil, Natural Gas, Coal and Biomass: Energy Use, Economics and Innovation*, Utrecht University, 2009.
- REN, T.; PATEL, M.; BLOK, K., 2006, *Olefins from Conventional and Heavy Feedstocks: Energy Use in Steam Cracking and Alternative Processes*, Energy, Vol. 31, No. 4, pp. 425-51.
- RICARDO-AEA, 2013. Imperial College. *Decarbonisation of heat in industry: a review of the research evidence.* Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/publications/decarbonisation-of-heat-in-industry-a-review-of-the-research-evidence>>. Acesso em> 01 set. 2015.

ROCHEDO, P., 2011. *Análise Econômica Sob Incerteza da Captura de Carbono em Termelétricas a Carvão: Retrofitting e Capture-Ready*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Planejamento Energético, Rio de Janeiro, Brasil.

SCALES, W.; MCCULLOCH, D. M., 2007. *Best Practices for Compressed Air Systems- Second Edition*, Compressed Air Challenge®. Washington, DC.

Schaeffer, R.; Szklo, A.; Lucena, A.; Carvalho, F.; Pereira, J. P.; Império, M., 2017. ANÁLISE DE CO-BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DE ESTRATÉGIAS DE BAIXO CARBONO. OPÇÕES DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) EM SETORES-CHAVE NO BRASIL. Rio de Janeiro.

SILVA, A., A., 2013. Potencial de Conservação de Energia na Indústria Cimenteira no Brasil. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Energia. Universidade Federal do ABC. Santo André, 2013.

SOUZA, M. F. L. G., 2015. Descrição das Novas Tecnologias, Estimativas de Redução de Consumo Energético e Emissões de GEE e Custos de Investimento. Produto 3. *Projeto "Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores Chave do Brasil"*. Rio de Janeiro, 2015.

SZKLO et al., 2015. Relatório de Tecnologias Transversais. *Projeto Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-Chave no Brasil*. MCTI: 2015.

TSAI, I.; ALI, M.; WADDI, S.; ZARZOUR, O., 2013. *Carbon Capture Regulation for The Steel and Aluminum Industries in the UAE: An Empirical Analysis*. Emirados Árabes Unidos. Energy Procedia, 2013.

UK DEPARTMENT OF ENERGY AND CLIMATE CHANGE, 2015. *UK Industrial decarbonisation and energy efficiency roadmaps to 2050: chemicals*. Department for Business, Innovation and Skills. London: UK DECC. UK BIS.

UNIDO, 2010. Carbon Capture and Storage in Industrial Applications: Technology Synthesis Report. Working Paper. November 2010.

US DOE - United States Department of Energy, 2004a. *Energy Tips – Compressed Air: Alternative Strategies for Low-Pressure End Uses*. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C..

US DOE - United States Department of Energy, 2006. FINAL Public Release Report for the Boise Cascade Energy Savings Assessment (ESA-006). Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C..

US DOE - United States Department of Energy, 2006. FINAL Public Release Report for the Boise Cascade Energy Savings Assessment (ESA-006). Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C.

US DOE - United States Department of Energy, 2008. *Forest Products Technologies: Public Private Partnerships Produce R&D Results*. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C..

US DOE - United States Department of Energy, 2002a. *Forest Products. Best Practices Assessment Case Study*. Georgia-Pacific Palatka Plant Uses Thermal Pinch Analysis and Evaluates Water Reduction in Plant-Wide Energy Assessment. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C.

US DOE - United States Department of Energy, 2003. *Improving Fan System Performance*. A sourcebook for industry. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C..

US DOE - United States Department of Energy, 2004. *Improving Steam System Performance*. A Sourcebook for Industry. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C..

US DOE – United States Department of Energy, 2009.. *Industrial Technologies Program: Summary of Program Results for CY 2009*. US Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy.

US DOE - United States Department of Energy, 2006b. *Industrial Technologies Programs*. Yield Improvement and Energy Savings Using Phosphonates as Additives in Kraft Pulp. Promises Substantial Energy Savings, Increased Yield, and Bleaching Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C..

US DOE - United States Department of Energy, 2003a. *Neville Chemical Company: Management Pursues Five Projects Following Plant-Wide Energy-Efficiency Assessment*. July 2003. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C..

US DOE - United States Department of Energy, 2006a. *Performance Spotlight*. Proven Tools and Practices to Increase Industrial System Energy Efficiency. Boise Paper: Process Pumping System Optimization Saves Energy and Improves Production. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C..

US DOE - United States Department of Energy, 2002b. *Pump System Optimization Saves Energy and Improves Productivity at Daishowa America Paper Mill*. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C..

US DOE - United States Department of Energy, 2002c. *Steam System Opportunity Assessment for the Pulp and Paper, Chemical Manufacturing, and Petroleum Refining Industries*. Main Report. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program, Washington, D.C..

VAN DEVENTER, H.C., 1997. Feasibility of Energy Efficient Steam Drying of Paper and Textile Including Process Integration. *Applied Thermal Engineering* 17.

VATOPOULOS, K., TZIMAS, E., 2012. Assessment of CO₂ Capture Technologies in Cement Manufacturing Process. *Journal of Cleaner Production*, 2012.

VISEDO, G., 2015. Departamento Técnico e Econômico - DTE / SNIC. (1. INT, Entrevistador).

WORRELL, E., GALITSKY, C., 2008. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making. Ernest Orlando Lawrence. Berkeley National Laboratory. *Na Energy Star Guide for Energy and Plant Managers*. Environmental Energy Technologies Division. California, 2008.

WORRELL, E.; PRICE, L.; NEELIS, M.; GALITSKY, C.; NAN, Z., 2008. *World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors*. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.

XENERGY, Inc., 1998. *United States Industrial Electric Motor System Market Opportunities Assessment*. Prepared for the United States Department of Energy's Office of Industrial Technology and Oak Ridge National Laboratory. Burlington Massachusetts.

ZEITZ, R. A., 1997. *CIBO Energy Efficiency Handbook*. Council of Industrial Boiler Owners, Burke, Virginia.

ZKG, 2010. *Grinding trends in the cement industry*. Alemanha, 2010. Disponível em http://www.zkg.de/en/artikel/zkg_2010-04_Grinding_trends_in_the_cement_industry_886612.html; Acesso em 15 de outubro de 2014.

3 ANÁLISE DA ESTRUTURA DE MERCADO E DA ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL

A seção 2 descreve e faz uma análise econômica sumária dos subsetores industriais de Papel e Celulose, Química, Cimento, Cal, Vidro, Ferro e Aço e Alumínio. A estrutura lógica de descrição e análise de cada subsetor tem início com uma caracterização econômica geral, a qual segue por uma visão do poder/concentração de mercado, que indica a capacidade das empresas em transmitir custos-carbono adicionais ao mercado de cada subsetor, depois verifica-se de que modo o custo-carbono pode impactar na economia a partir dos setores-chaves e o efeito em termos de renda e emprego, de modo a finalizar com a importante análise da vulnerabilidade externa de cada subsetor.

Utilizaram-se diferentes fontes de informação para caracterizar os subsetores. Primeiramente, desenvolveram-se indicadores macroeconômicos para caracterização geral, grau de concentração, encadeamento para frente e para trás, multiplicadores de produção, emprego, renda e tributário, e vulnerabilidade externa, a partir da nova série do Sistema de Contas Nacionais e da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), mais atualizada e no maior nível de desagregação disponível²⁵. O ano base 2010 da Matriz Insumo Produto está em consonância com as informações oficiais sobre emissões setoriais de GEE oriundas da Terceira Comunicação Nacional (2016a). Além disso, fez-se uso dos dados da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS do ano 2014, fornecidas oficialmente pelo IBGE e pelo Ministério do Trabalho.

Os principais indicadores de caracterização geral são a estrutura de distribuição setorial do Valor Bruto da Produção (VBP)²⁶ e do Valor Adicionado (VA)²⁷, os quais indicam os setores mais relevantes em termos de VBP e VA, possibilitando a análise específica da importância dos subsetores alvo do estudo em relação à produção total da economia, da indústria de transformação e dos setores selecionados do estudo. Ainda na caracterização geral, analisa-se a estrutura de distribuição das vendas setoriais, de modo a indicar características importantes do produto, se a maior parte da produção é destinada à exportação, ou ao consumo das famílias, por exemplo.

Os indicadores de grau de concentração utilizados foram o coeficiente de pessoal ocupado e o índice Razão de Concentração (CR). Devido a indisponibilidade de informações sobre produção ou VA ao nível da firma, foram utilizados dados de emprego e massa salarial (dados do IBGE e microdados da RAIS) como uma proxy do VA da firma, tendo em vista que capturam tanto o número de vínculos como o salário pago pelas empresas. As análises de estrutura de mercado com base em indicadores de grau

²⁵ O anexo deste documento provê a descrição e o procedimento metodológico para elaboração dos indicadores.

²⁶ Corresponde à soma de todos os bens e serviços produzidos, tanto produtos finais quanto insumos usados na produção.

²⁷ Corresponde à diferença entre o valor bruto da produção e o consumo intermediário.

de concentração têm na especificação setorial (nível de agregação) uma decisão importante, pois implicam escolher o mercado relevante para a análise de concentração. Logo, não é adequado analisar a estrutura de concentração de setores muito agregados, tais como indústria de minerais não-metálicos (que contempla os subsetores Cimento, Cal e Vidro) e minerais não-ferrosos (que contempla o subsetor Alumínio). Nesse sentido, utilizou-se o nível de agregação de produto do SCN nos microdados da RAIS (ver Anexo). Para os demais setores do estudo, utilizaram-se informações fornecidas diretamente pelo IBGE.

Com o intuito de determinar a potencialidade da transmissão de impactos do custo carbono sobre subsetores da indústria, é relevante verificar se estes constituem-se setores-chave para a economia brasileira. Nesse sentido, o índice Rasmussen-Hirschman, indicador de encadeamento intersetorial, é utilizado a fim de se compreender as dependências, para trás e para frente, entre os setores, isto é, quanto da produção do setor é necessário para produzir uma unidade de demanda final de outro setor. Ademais, para se verificar o efeito da transmissão do custo-carbono sobre a demanda final e, conseqüentemente, sobre as demais variáveis-chave da economia nacional, foram calculados os multiplicadores de produção, renda, emprego e tributário.

Interessa ainda identificar, com intuito de verificar o impacto sobre a competitividade setorial, tanto a participação das exportações na produção, quanto a vulnerabilidade ao comércio exterior, dos diferentes subsetores industriais do estudo. Estas questões são analisadas com base no coeficiente de exportação e no coeficiente de penetração de importações setoriais. A tributação de carbono impõe risco adicional de vulnerabilidade devido à perda de mercado doméstico na paridade de importação ou perda de mercado para exportador na paridade da exportação. Um setor muito concentrado domesticamente pode ser contestado por sua vulnerabilidade externa (por exemplo, setor petroquímico nacional). Um setor com baixa vulnerabilidade externa, se concentrado, por sua vez, tem mais chance de impor preços maiores sem perda de mercado, desde que seu produto seja pouco elástico. Isto é, a empresa pode impor um mark-up de preço, transferindo o custo carbono ao consumidor.

Vale ressaltar também que foram acessadas e analisadas fontes de dados associadas diretamente aos subsetores analisados, como relatórios de associações industriais, relatórios do Ministério de Minas e Energia e bases de dados da SECEX (Alice Web). Como o nível de desagregação da Matriz Insumo-Produto para a indústria de minerais não-metálicos não possibilita detalhar os subsetores cimento, cal e vidro, estes relatórios setoriais tornam-se particularmente relevantes. Não obstante, mesmo para os outros subsetores, a análise dos relatórios específicos permite adequada qualificação das informações. No caso do subsetor químico, por outro lado, foi possível detalhar atividades dentro do subsetor, tanto através da Matriz Insumo-Produto quanto através de relatórios setoriais, fazendo com que, de fato, este subsetor, que é bastante heterogêneo e complexo, acabe por incluir diferentes segmentos.

Destarte, adotou-se uma cor específica para cada subsetor analisado (Figura 21), de forma a facilitar a realização de comparações inter-setoriais, conforme a figura abaixo. A ordem de apresentação dos setores industriais dentro deste relatório segue o ordenamento da Matriz Insumo-Produto do IBGE.

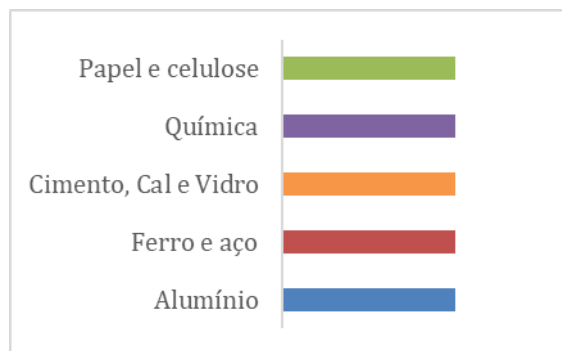


Figura 21 - Sistema de cores adotado para cada subsetor analisado

Fonte: Elaboração própria.

A seção, portanto, está composta por 3 subseções onde trata, inicialmente, da caracterização da indústria brasileira, descrevendo e analisando cada um dos setores do estudo, de modo que a subseção 2.1 trata sobre o setor Papel e Celulose a seção 2.2 sobre o setor Química, a seção 2.3 sobre Cimento, Cal e Vidro (principais minerais não-metálicos), a seção 2.4 sobre o setor Ferro e Aço e a seção 2.5 sobre Alumínio (principal mineral não-ferroso). Ademais, na seção 2.6 é realizada uma análise comparativa dos indicadores estudados, incluindo coeficiente direto do excedente operacional bruto como uma proxy das margens de lucro setoriais. Cabe ressaltar que em Anexo está descrita a metodologia empregada para calcular os indicadores, bem como os Índices de Razão de Concentração (CR) que foram utilizados para determinar a participação de grandes empresas no mercado, conforme dados mais detalhados da Relação Anual de Informações Sociais - RAIS oriundos do Ministério do Trabalho.

3.1 PAPEL E CELULOSE

No presente item, tratar-se-á do subsetor de papel e celulose, indicando suas características gerais (VBP – valor bruto de produção, VA - valor adicionado, produção, vendas e desagregação do setor), seu grau de concentração (coeficiente de pessoal ocupado, índice de razão de concentração, número de empresas, maiores produtores etc), seus indicadores de encadeamento (índices de ligação Rasmussen-Hirschman e multiplicadores de renda e emprego) e sua caracterização do comércio internacional (balança comercial, destino das exportações e coeficientes de exportações e importações). O estudo fez uso tanto de referências nacionais como, por exemplo, publicações da Bracelpa – Associação Brasileira de Celulose e Papel (atual Ibá – Indústria Brasileira de Árvores), EPE – Empresa de Pesquisa Energética, CNI – Confederação Nacional da Indústria, MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia Industrial, ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial e BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, como referências internacionais, por exemplo, estudos da IEA -

International Energy Agency, UNIDO – *United Nations Industrial Development Organization*, e US DOE – *United States Department of Energy*.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

De acordo com Piton (2015), o VBP do subsetor Papel e Celulose chegou a R\$ 58,9 bilhões em 2012, contra R\$ 20,7 bilhões em 2000, um aumento de 285% no período. Em 2010, o setor, cujo VBP foi de R\$ 56 bilhões, representou menos de 1% VBP nacional em 2010 (0,9%) e 2,8% do VBP da indústria de transformação, conforme pode ser visualizado na Figura 22.

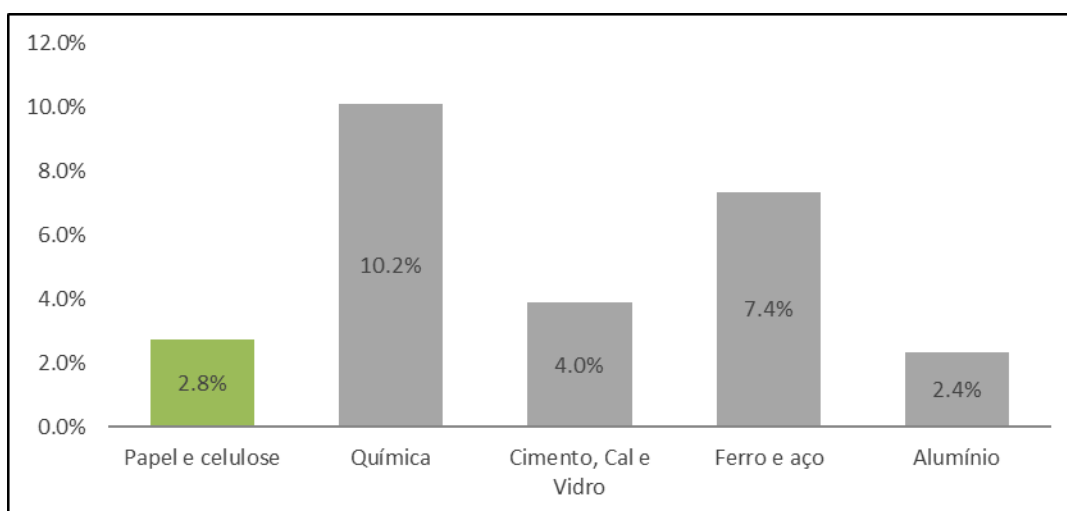


Figura 22: Participação do VBP do subsetor Papel e Celulose na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Relacionando com os demais subsetores do estudo, isto é, *Química, Cimento, Cal e Vidro, Ferro e aço* e *Alumínio*, é possível observar que o setor *Papel e Celulose* representa 10% do somatório do VBP de todos os setores selecionados, conforme Figura 23.

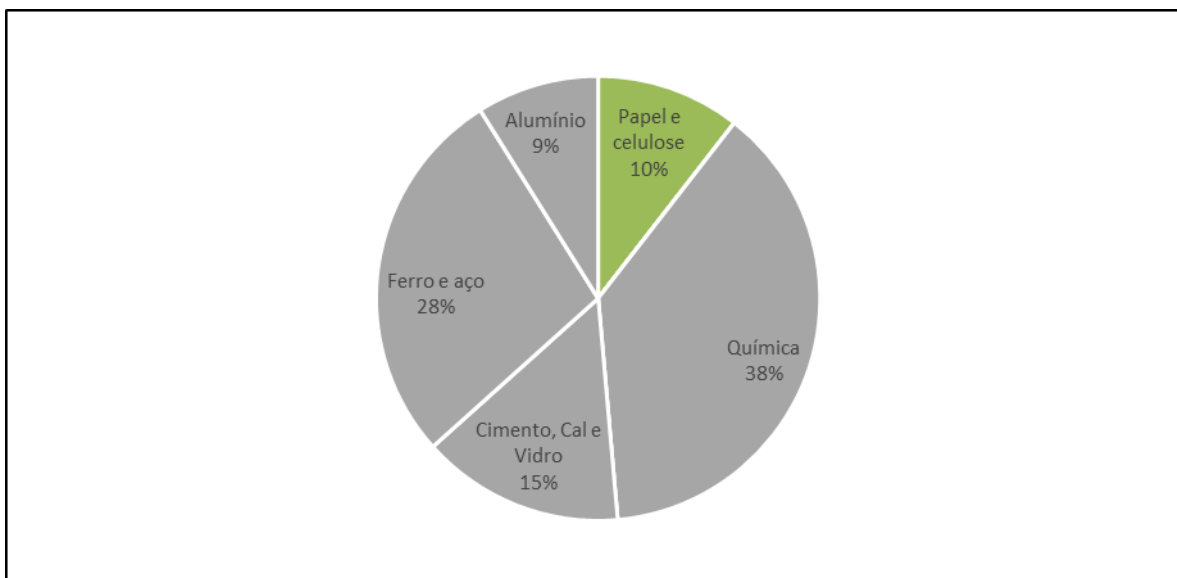


Figura 23: VBP do subsector Papel e Celulose x VBP dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Na mesma direção, o valor adicionado, que leva em conta a diferença entre o valor bruto da produção e o consumo intermediário, também cresceu, apresentando uma alta de 132%, passando de R\$ 15,6 bilhões em 2008 para R\$ 20,7 bilhões em 2012 (Piton, 2015). Em 2010, o setor *Papel e Celulose* alcançou cerca de R\$ 15 bilhões, representando menos de 1% do PIB nacional (0,5%). Dentro do valor adicionado da indústria de transformação, o setor correspondeu, em 2010, a 3,1% do total.

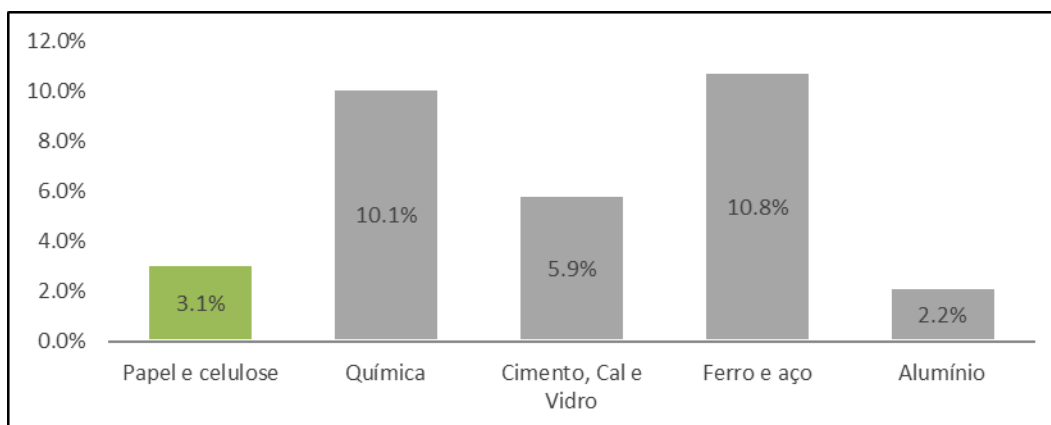


Figura 24: Participação do VA do subsector Papel e Celulose na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O subsector *Papel e Celulose*, relacionado ao somatório do valor adicionado dos setores selecionados do estudo, representa 10%, conforme Figura 25, sendo, portanto, um setor de menor representatividade, acima apenas do setor *Alumínio* em 2010.

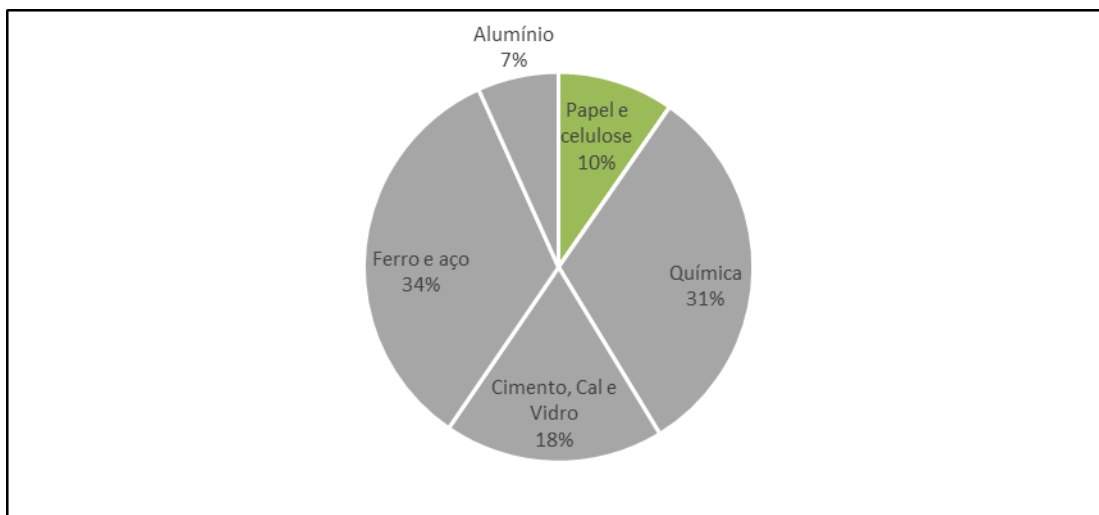


Figura 25: VA do setor Papel e Celulose x VA dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Ademais, observa-se que a maior parte dos produtos do subsetor *Papel e celulose* serve de matéria-prima para outros segmentos e setores (consumo intermediário), como também é destinado ao exterior.

Em 2010, a *Celulose* teve cerca de 65% de sua produção destinada ao exterior, 39% para o consumo intermediário e -4% para variação de estoque (Figura 26). Por sua vez, *Papel, papelão, embalagens e artefatos de papel* tiveram sua produção destinada cerca de 79% aos outros segmentos e setores, cerca de 16% para o consumo das famílias e apenas 6% ao exterior.

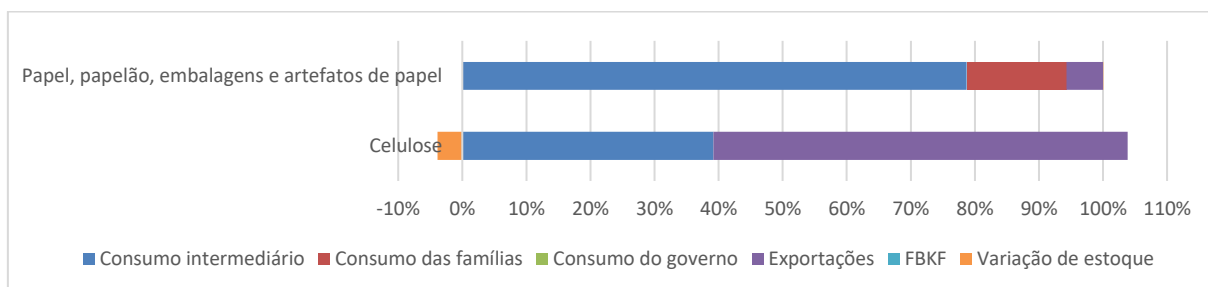


Figura 26: Distribuição das vendas do setor Papel e Celulose, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O valor das vendas²⁸ também apresentou alta expressiva no período entre 2000 e 2012. As vendas de celulose passaram de 3,4 para 11,3 bilhões de reais o que representa uma alta de 232%, cerca de 11%

²⁸ Representa a soma dos valores das vendas de todas as unidades locais que informaram o produto na Pesquisa Industrial Anual (PIA-IBGE). O valor das vendas corresponde às vendas realizadas diretamente pelas unidades locais produtivas industriais nos respectivos anos em questão, assim, não estão incluídos valores de inflação do período.

a.a.. Já no caso do setor de papel, as vendas cresceram de 4,9 para 10,8 bilhões de reais, ou seja, um aumento de 120%. Entre 2012 e 2015 estes setores mantiveram a mesma média anual de crescimento, chegando a 15,6 e 13,4 bilhões de reais de vendas de celulose e papel, respectivamente (IBGE, 2017).

De acordo com BRACELPA (2014a), os altos investimentos da indústria e o desenvolvimento econômico do Brasil tiveram impactos expressivos na produção de celulose e papel entre 2003 e 2013, tendo o setor crescido cerca de 60% em volume de celulose produzido, com um crescimento médio de 5,2% ao ano, e aumentado sua produção de papel em 32%, com crescimento médio de 2,8% ao ano. Na Tabela 44 é possível observar as produções de papel e celulose, por tipo, de 2003 a 2013.

Tabela 44: Produção de Papel e Celulose de 2003 a 2013 (1.000 toneladas)

Produção*	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Celulose (Total)	9.069	9.620	10.352	11.180	11.997	12.697	13.315	14.064	13.922	13.977	15.029
Fibra Curta	-	-	-	-	-	10.613	11.374	12.014	11.844	11.845	12.473
Fibra Longa	-	-	-	-	-	1.567	1.512	1.619	1.643	1.609	1.769
Pasta de Alto Refinamento	-	-	-	-	-	508	429	431	435	523	517
Papel (Total)	7.916	8.452	8.597			9.409	9.428	9.792	10.159	10.260	10.444
Embalagem	-	-	-	-	-	4.775	4.694	4.798	5.168	5.210	5.364
Imprimir e Escrever	-	-	-	-	-	2.504	2.575	2.704	268	2.634	2.621
Imprensa	-	-	-	-	-	141	127	24	129	131	128
Fins Sanitários	-	-	-	-	-	850	866	915	961	1.040	1.096
Papel Cartão	-	-	-	-	-	711	748	786	733	761	739
Outros	-	-	-	-	-	428	461	465	488	484	496

*Dados divulgados para 2003-2007 não discriminam produção por tipo.

Fonte: Elaboração própria com base em Bracelpa (2009; 2010; 2011; 2012; 2013).

Segundo Ibá (2014), em 2013, o Brasil era o quarto maior produtor mundial de celulose e o nono maior produtor de papel, como pode ser analisado na Figura 27.

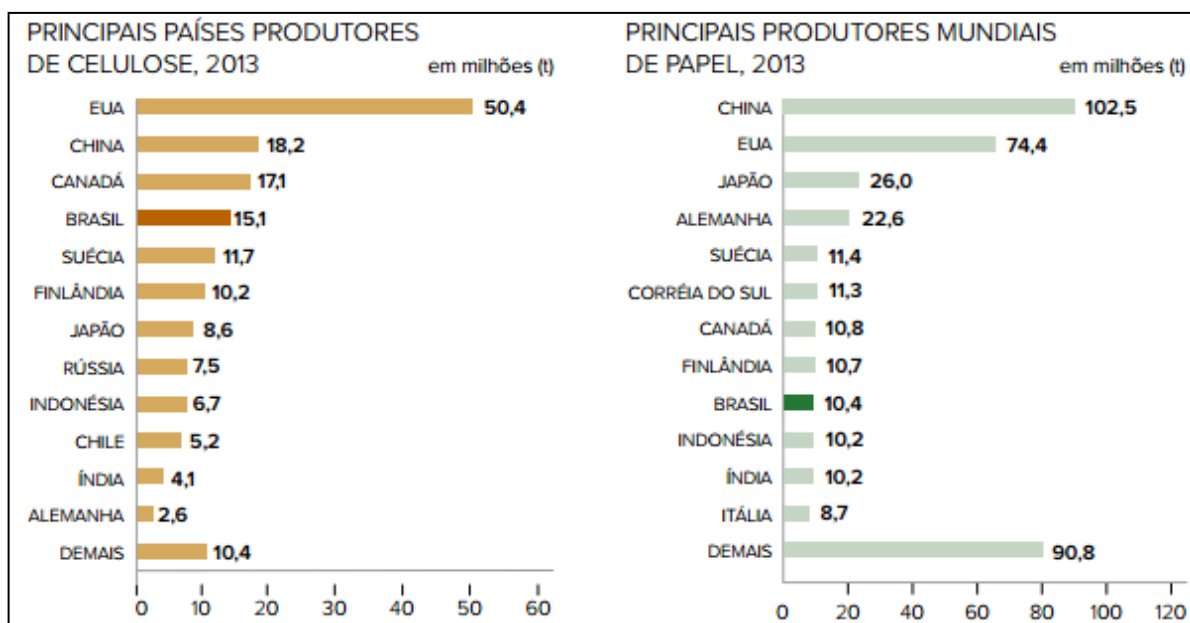


Figura 27: Principais países produtores de celulose e papel

Fonte: Ibá (2014).

A desagregação do subsetor industrial de papel e celulose pode ser feita segundo unidades produtivas e seus processos de produção, produtos obtidos e empresas existentes, com suas respectivas localizações geográficas. Segundo Henriques Jr. (2010), no que concerne aos processos produtivos, estes podem ser de três tipos: os que produzem somente celulose, os que produzem exclusivamente papel e os integrados de papel e celulose. Neste contexto, há três métodos distintos para obtenção da celulose: o método mecânico, podendo este ser termomecânico ou químico-termo mecânico; o método químico, o qual pode ser do tipo sulfato/Kraft, ou sulfito; e o método semiquímico (BNDES, 2010). No que diz respeito à produção de papel, esta não possui variações, tendo quatro etapas principais: i) preparo e adequação da pasta celulósica; ii) formação da folha (mesa plana); iii) prensagem mecânica para extração da água; iv) secagem da folha (Henriques Jr., 2010).

O estudo “Oportunidades de Eficiência Energética na Indústria” (CNI, 2010), classifica os produtos deste setor como sendo: i) Pastas celulósicas de alto rendimento (PAR), produzidos por processos mecânicos; ii) Pastas celulósicas químicas e semiquímicas, produzidas por processos químicos; iii) Papéis, produzidos através das etapas básicas de produção de papel.

Já BRACELPA (2014) classifica mais detalhadamente os tipos de produtos deste segmento, fazendo a distinção das celuloses de acordo com o tipo de fibra, e se a mesma é branqueada ou não, ou ainda, se é uma pasta de alto rendimento, bem como diferencia os papéis de acordo com seus usos finais, como descrito no Quadro 3.

Quadro 3: Tipos de Celulose e Papel Produzidos

Celulose	Papel
Fibra Longa	Papel de imprensa
Branqueada	Papel de imprimir e escrever
Não branqueada	Papel para embalagem
Fibra Curta	Papel para fins sanitários
Branqueada	Papel cartão
Não branqueada	Cartolinas
Pasta de Alto Rendimento	Outros

Fonte: BRACELPA (2014).

Em relação às fibras, estas podem ser do tipo longa, a qual é originária de espécies como o pinus e é utilizada na fabricação de papéis que demandam mais resistência, como os de embalagens, e nas camadas internas do papel-cartão, além do papel jornal; ou curta, a qual deriva principalmente do eucalipto e é ideal para a produção de papéis como os de imprimir e escrever e de fins sanitários (papel higiênico, toalhas de papel, guardanapos) (BRACELPA, 2014).

3.1.2 GRAU DE CONCENTRAÇÃO

De acordo com dados de IBGE (2014), em termos de pessoal ocupado, o subsetor *Papel e Celulose* representa cerca de 2%, com mais de 200 mil pessoas, do subsetor da indústria de transformação. Conforme a Figura 28, o setor representa 17% dentre o total de pessoas ocupados dos subsetores industriais selecionados do estudo, de modo que se destacam a atividade *Fabricação de embalagens de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado* com 36% e *Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel* que apresenta cerca de 9% do total de pessoas ocupadas do setor.

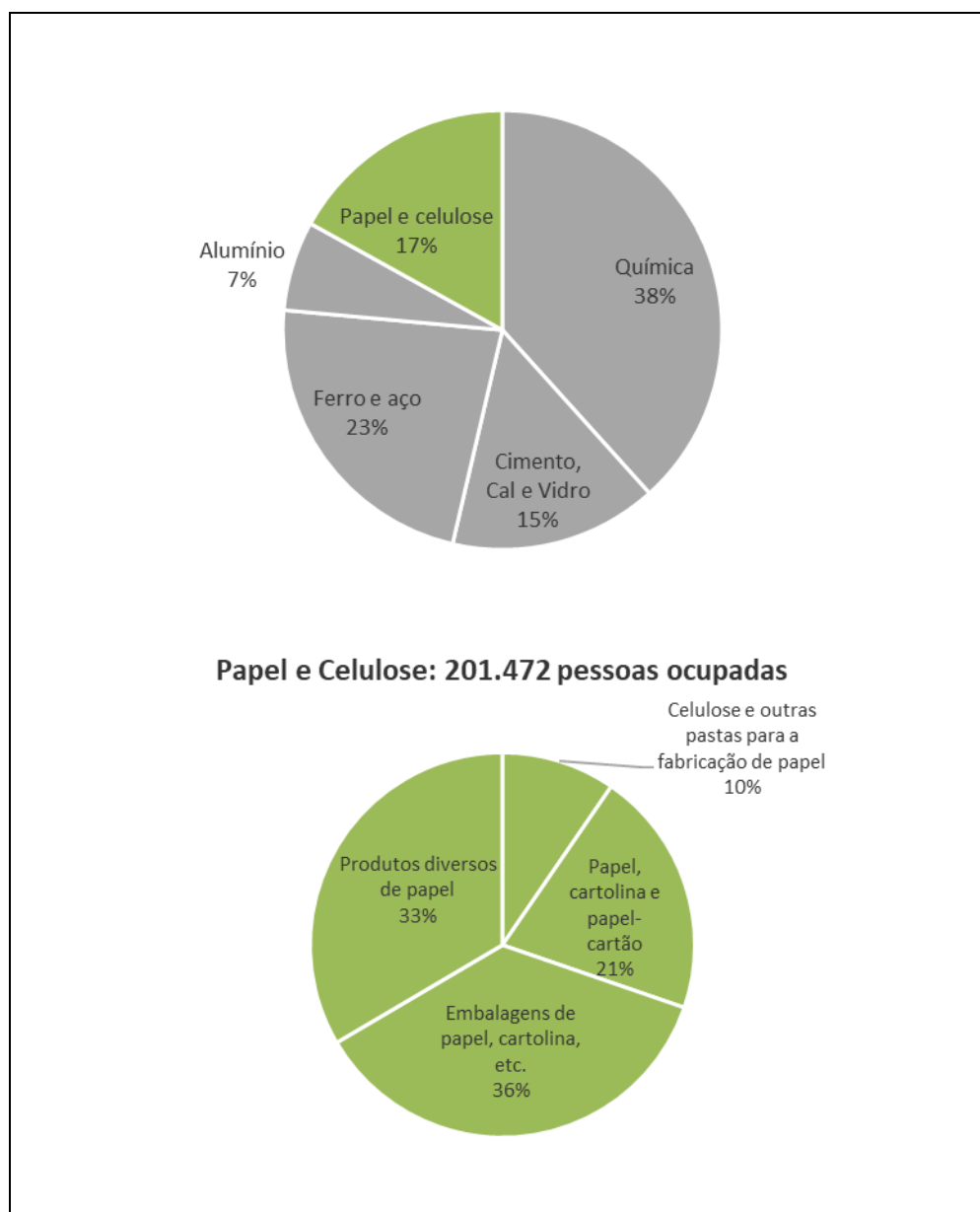


Figura 28: Coeficiente de Pessoal Ocupado para Papel e Celulose, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

O índice de Razão de Concentração (CR) é utilizado para determinar a participação de grandes empresas no mercado. Seu resultado deve variar entre 0 (zero) e 100 (cem), onde “0” representa uma situação de concorrência perfeita e “100” indica uma condição de concentração intensa. De acordo com IBGE (2014), o qual estima os índices de concentração econômica a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas²⁹, os índices CR do subsector *Papel e Celulose* são inferiores às médias dos

²⁹ Vale ressaltar que em termos de capacidade instalada o índice RC tende a ser superior ao estimado via pessoal ocupado, tendo em vista a convivência de grandes e microempresas.

setores industriais selecionados do estudo. Contudo, a partir de uma análise mais detalhada das empresas dentro de cada produto do setor é possível observar maiores graus de concentração. Em 2014, o produto *Celulose e outras pastas para a fabricação de papel*, que teve um total de 55 empresas, apresentou os maiores índices CR dentre os produtos dos subsetores selecionados do estudo, chegando a 97,4 (CR12), os demais índices CR dentro do subsetor *Papel e Celulose* podem ser visualizados na Figura 29.

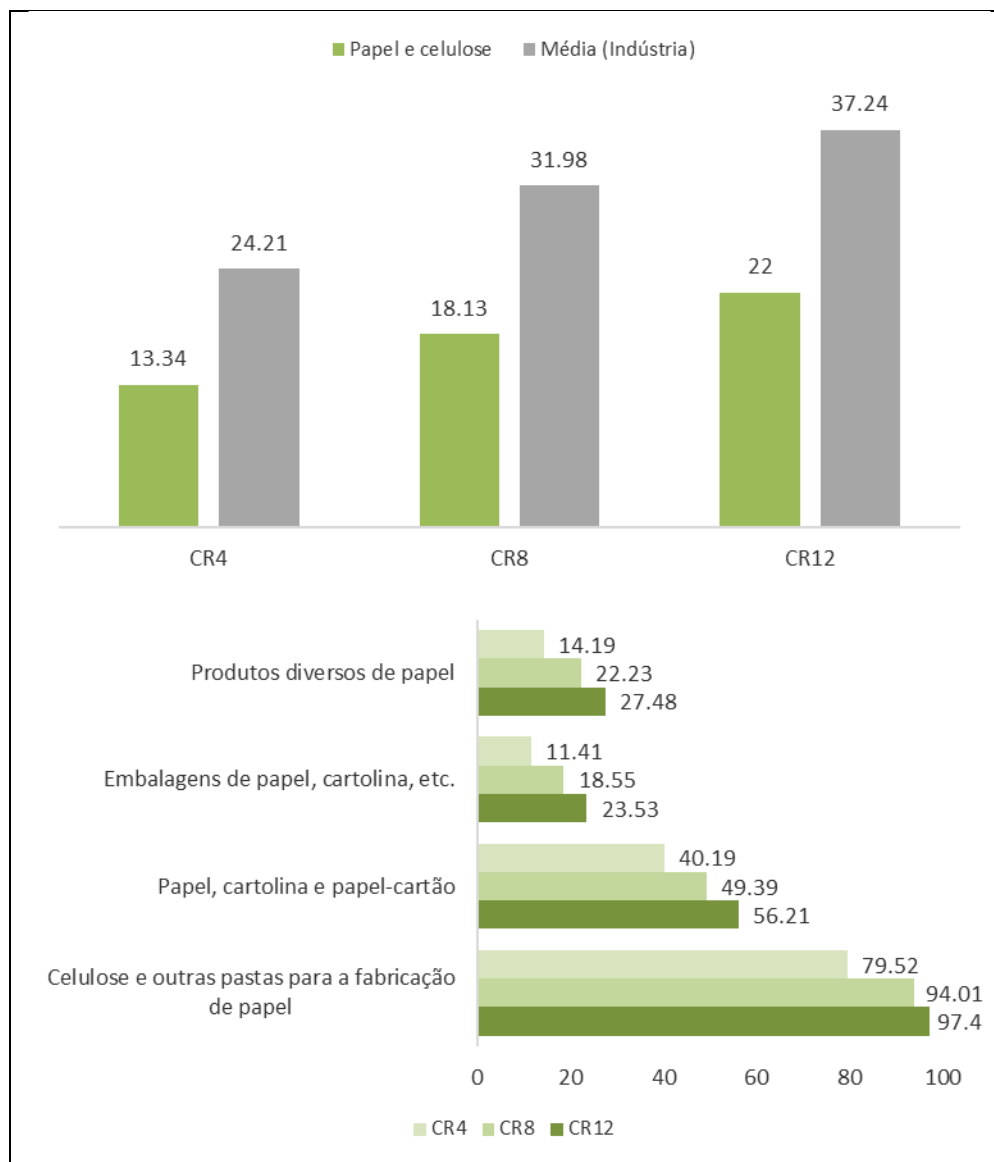


Figura 29: Índices de Razão de Concentração* para Papel e Celulose, 2014

Fonte: IBGE (2014).

* índices de concentração econômica estimados a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas. A média da indústria inclui apenas os setores selecionados neste estudo.

Ainda a partir de IBGE (2014), foi possível construir gráficos que relacionam o número de empresas com a quantidade de pessoal ocupado para cada segmento dos subsetores industriais selecionados

do estudo. De acordo com o nível de desagregação dos dados, não foi possível desagregar o gráfico do setor *Papel e Celulose* em suas atividades a partir dos dados consultados. Nesse caso, conforme a Figura 30, podemos observar uma predominância de empresas com poucas pessoas empregadas, sendo a faixa de 0 a 4 pessoas ocupadas superior a soma das faixas de 5 a 9 e 10 a 19; a poucas empresas com 250 ou mais empregados.

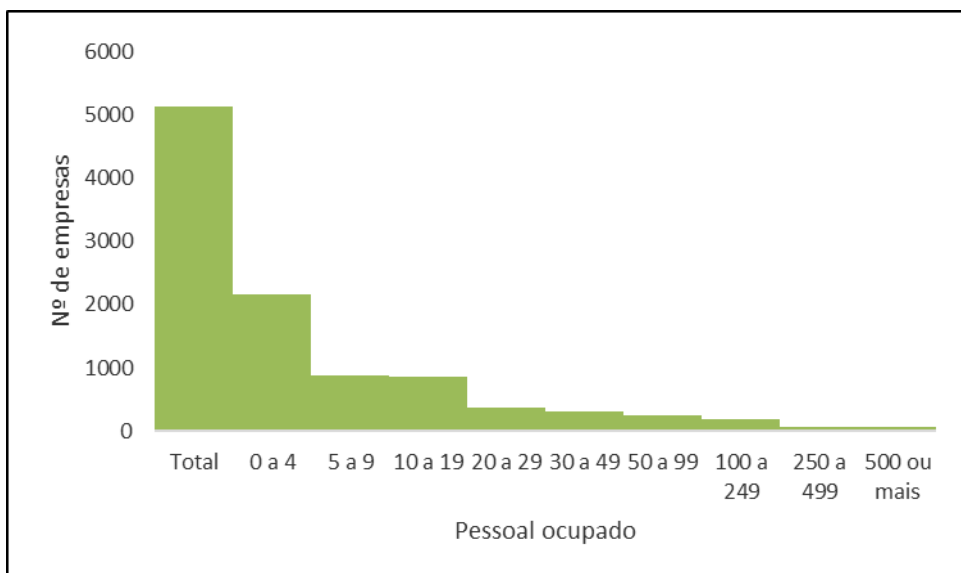


Figura 30: Número de empresas x Pessoal ocupado para Papel e Celulose, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

O subsetor industrial de papel e celulose no Brasil conta com cerca de 5 mil empresas, e, de acordo com Bracelpa (2014), estas possuem atividade em 540 municípios, localizadas em 18 Estados. A Figura 31 a seguir apresenta a localização dos produtores de celulose e papel no Brasil.

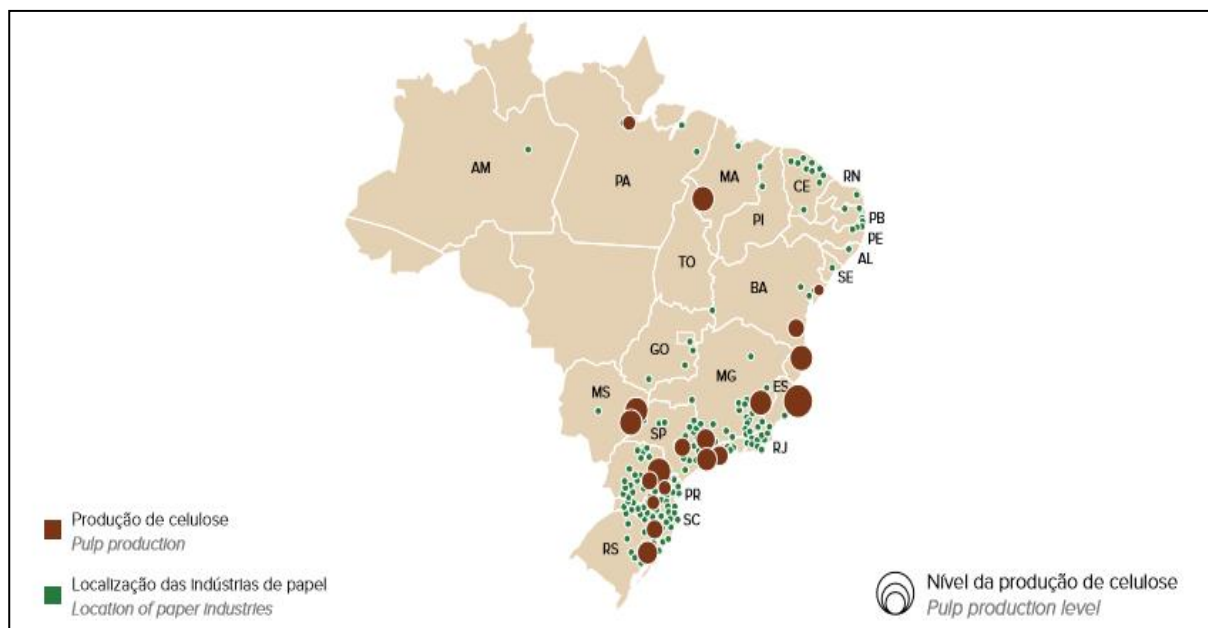


Figura 31: Localização dos produtores brasileiros de celulose e papel

Fonte: Pöyry (2015).

De acordo com Piton (2015), o subsetor de celulose apresenta alto grau de concentração, com apenas cinco empresas (Fibria, Suzano, Klabin, Cenibra e International Paper) respondendo por mais de 80% da produção nacional. Além disso, segundo o autor, quando se analisa apenas a celulose de fibra curta, essa concentração é ainda maior, dado que existem hoje, oito fábricas com capacidade produtiva maior do que um milhão de toneladas/ano no mundo, sendo seis delas brasileiras, uma chilena e outra uruguaia.

Em relação ao subsetor de papel, a concentração é consideravelmente menor, com as cinco maiores empresas (Klabin, Suzano, International Paper, Fibria e Rigesa) respondendo por, aproximadamente, 61% de produção nacional. Além disso, a maior fragmentação desse subsetor reflete a estrutura industrial mais heterogênea da indústria de papel nacional (Piton, 2015). Entre os fatores que explicam essa maior heterogeneidade em relação ao de celulose, destacam-se a maior segmentação de mercado e as baixas barreiras à entrada em alguns nichos de mercado (Viana, 2012). Ademais, no Brasil, coexistem plantas industriais de grande porte, alta tecnologia e escala de produção com fábricas de menor porte, defasadas tecnologicamente e não integradas ao processo de produção da celulose. Isso ocorre, de modo geral, porque esses investimentos de menor porte já estão amortizados e seguem gerando rendimentos, o que implica em um lento processo de desativação destas fábricas no país (Lopes, 1998).

3.1.3 INDICADORES DE ENCADEAMENTO INTERSETORIAL E EFEITO MULTIPLICADOR

A partir de dados da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), foram obtidos os índices de ligação Rasmussen-Hirschman (RH). De acordo com o critério de McGILVRAY (1977), se os setores apresentarem índices de ligação para frente (que expressam o quanto um setor é demandado pelos outros), e/ou para trás (que mostram o quanto um setor demanda dos outros) maiores do que 1 podem ser classificados no conceito restrito como setores-chave. Este é o caso da maioria dos subsetores industriais do Brasil, os quais demonstram alto poder de encadeamento com atividades tanto a jusante, as quais demandam matérias-primas para a elaboração de produtos com maior valor adicionado, quanto a montante da economia. Como os índices de ligação são superiores a 1,0, fica clara a importância do setor para a economia brasileira, além de ser um subsetor de base renovável capaz de ser um vetor de mitigação para a economia brasileira.

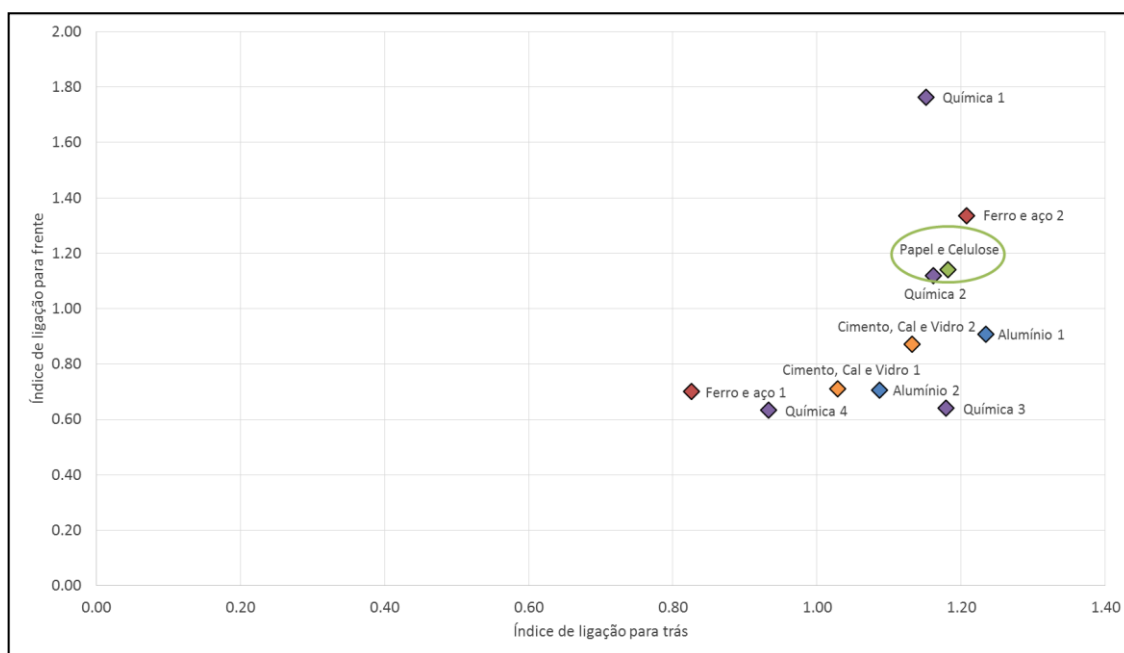


Figura 32: Índices de ligação Rasmussen-Hirschman para Papel e Celulose, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Conforme a Figura 32 observa-se que o subsetor *Papel e Celulose* consiste em um setor-chave na economia brasileira, pois apresenta índices de ligação para trás e para frente superiores a unidade (1,18 e 1,14, respectivamente). Assim, é um setor cuja produção é demandada pelos demais segmentos e setores da economia e um aumento do nível de suas atividades gera aumento acima da média na demanda por insumos de outros setores.

A análise da estrutura econômico-produtiva dos segmentos industriais nacionais também foi realizada através da obtenção dos multiplicadores totais (tipo II) setoriais: de renda, de produção, de emprego e

tributário. Em 2010, o multiplicador de renda médio da economia foi de 3,94 e o subsetor de *Papel e Celulose* apresentou multiplicador de renda superior à média, de modo que R\$ 4,59 milhões de remunerações são gerados em toda a economia, levando em consideração os efeitos diretos, indiretos e induzidos dado um aumento de R\$ 1 milhão nas remunerações de *Fabricação de celulose, papel e produtos de papel*, conforme Figura 33. Em termos de produção, ainda na Figura 33, o setor *Papel e Celulose* apresentou multiplicador no valor de 4,46, o que significa que toda a economia deve produzir R\$ 4,46 milhões para cada R\$ 1 milhão gasto no consumo final do setor.

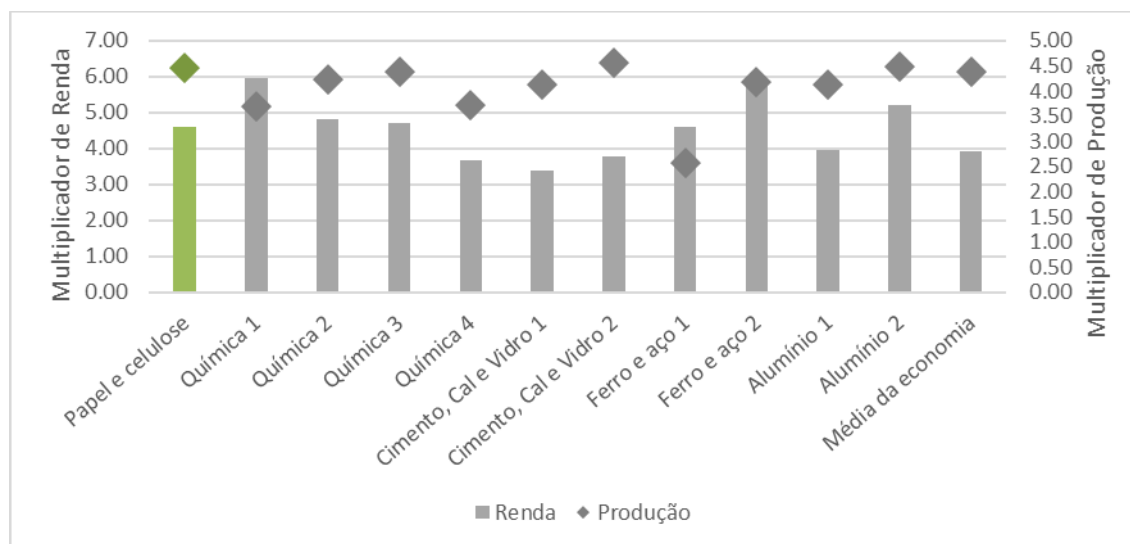


Figura 33: Multiplicadores de renda e de produção para Papel e Celulose, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

No que tange aos multiplicadores de emprego e tributário, é possível observar na Figura 34 os resultados do setor *Papel e Celulose* em 2010. O multiplicador de emprego médio da economia dos subsetores industriais selecionados do estudo foi de 11,28 e o subsetor de *Papel e Celulose* apresentou multiplicador de emprego levemente superior à média, de modo que cerca de 12 empregos são gerados em toda a economia a cada 1 emprego gerado na *Fabricação de celulose, papel e produtos de papel*. Em termos de tributos, ainda na Figura 34, o subsetor *Papel e Celulose* apresentou um multiplicador relevante dentre os setores industriais selecionados, de modo que R\$ 3,83 de arrecadação de impostos, líquidos de subsídios, sobre a produção e a importação são gerados em toda a economia, levando em consideração os efeitos diretos, indiretos e induzidos dado um aumento de R\$ 1 nos tributos de *Fabricação de celulose, papel e produtos de papel*.

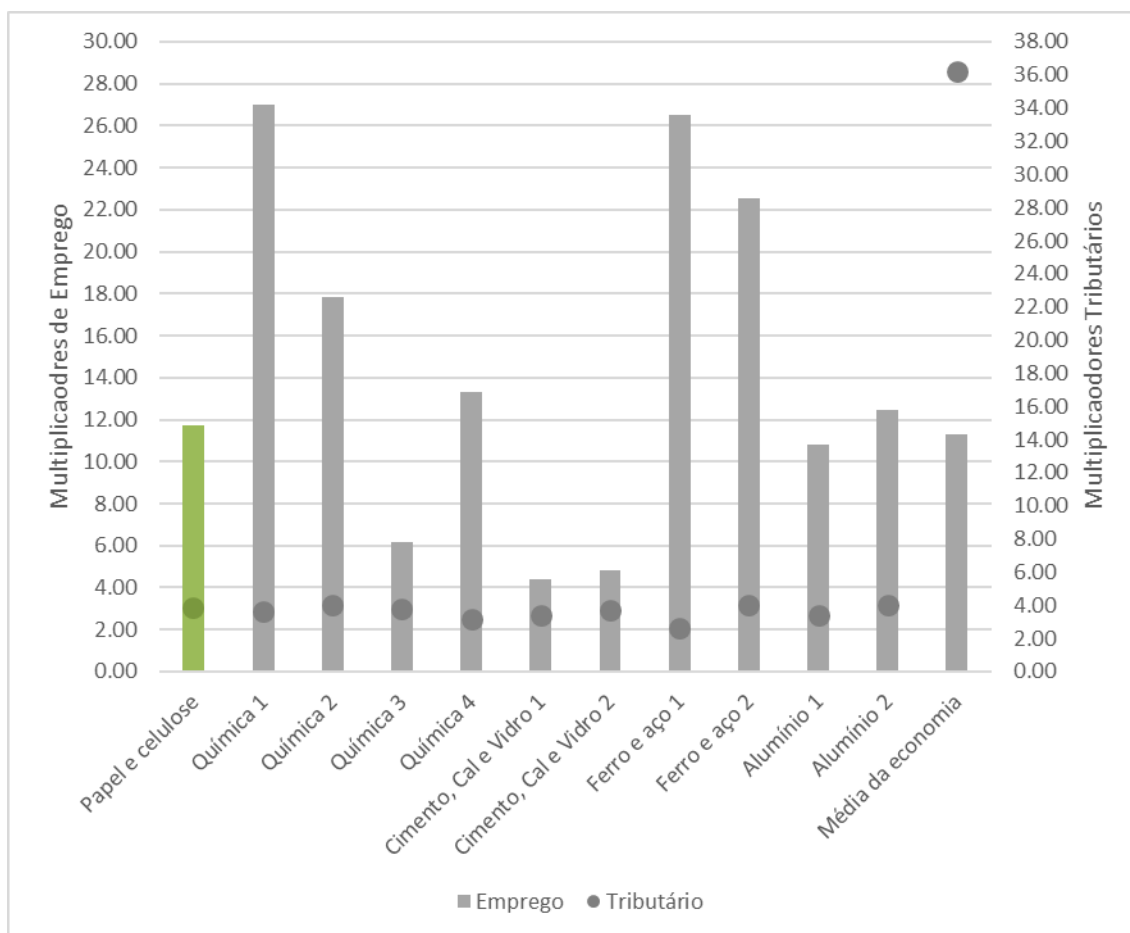


Figura 34: Multiplicadores de emprego e tributários para Papel e Celulose, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

3.1.4 VULNERABILIDADE EXTERNA

A balança comercial do subsetor de papel e celulose mantém uma trajetória superavitária desde 1979. De acordo com Piton (2015), o subsetor de papel, as exportações se mantiveram praticamente estáveis em 1,9 bilhão de dólares no período entre 2008 e 2016, enquanto as importações apresentaram um período de crescimento, até 2011 e posteriormente um decréscimo, passando para 1,7 bilhão de dólares em 2011 e chegando a 0,7 bilhão de dólares em 2016. Já no segmento de celulose, as exportações aumentaram em 42,3% no período em questão, passando de 3,9 para 5,6 bilhões de dólares.

As importações também cresceram pouco no período de 2008-2016 (2,7%), de um patamar de 274 milhões de dólares para 281 milhões de dólares. O aumento das importações deste subsetor é decorrente, em grande medida, da demanda nacional por celulose de fibra longa, que apresenta ainda tímida produção em relação à celulose de fibra curta. Desta forma, o aumento das exportações é expresso de forma muito mais evidente no saldo do subsetor, que passou de 3,7 bilhões de dólares

para 4,4 bilhões de dólares, uma alta de 19,9% (BRACELPA, 2014b). A Figura 35 a seguir, apresenta a evolução histórica do saldo comercial do setor de papel e celulose no Brasil, de 1990 a 2016.

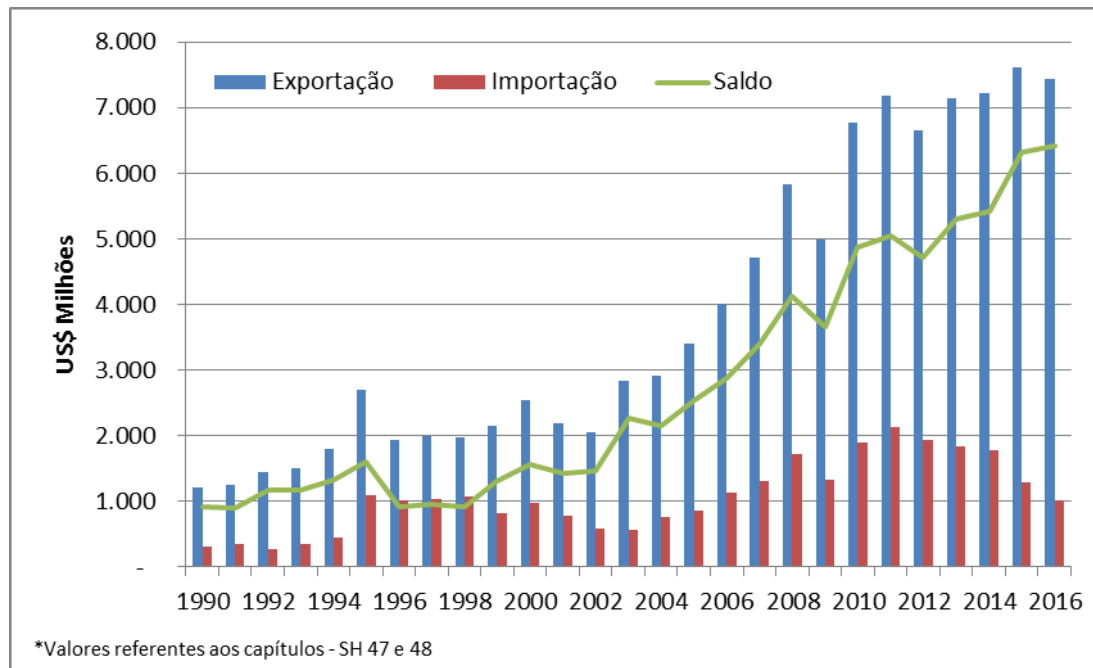


Figura 35: Evolução histórica do Saldo comercial do subsetor de Papel e Celulose no Brasil

Fonte: SECEX (2017).

Em relação à destinação das exportações, segundo Ibá (2014), em 2012 a Europa se manteve como o principal destino da celulose brasileira, com a importação de 41% do volume exportado, seguida pela Ásia e pela América do Norte, com cerca de 39% e 20%, respectivamente (Figura 36). Já em relação ao papel, em 2012 a América Latina representava o principal mercado, responsável pelo consumo de 50% do volume exportado (Figura 37).

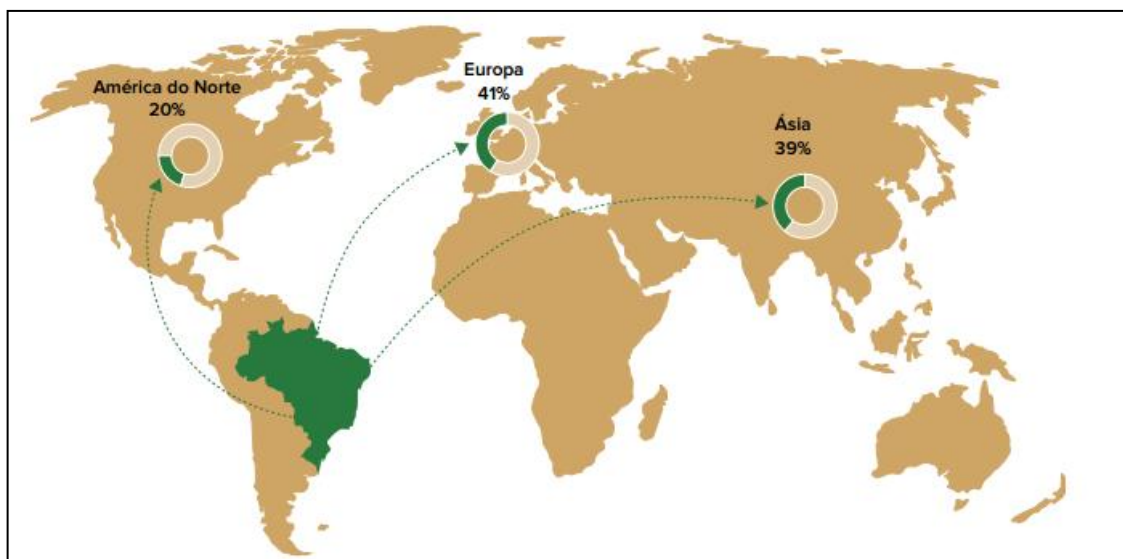


Figura 36: Destino das exportações brasileiras de celulose

Fonte: Ibá (2014).

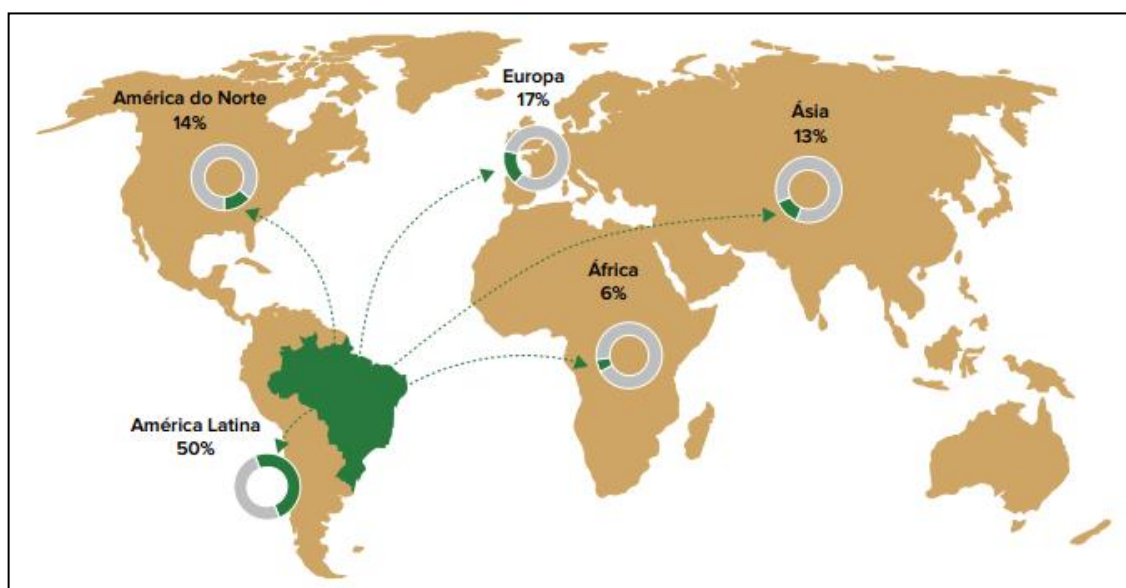


Figura 37: Destino das exportações brasileiras de papel

Fonte: Ibá (2014).

Na análise do destino da produção de celulose e papel no Brasil (Figura 38 e Figura 39), observa-se que no ano de 2011, 61% da produção de celulose foram exportados, contra aproximadamente 20% da produção de papel. Já no caso do mercado consumidor interno, em média 11% da celulose produzida abasteceu empresas locais. Em relação ao papel, 52% da produção foram direcionados para as empresas locais. Na classificação do consumo próprio, tanto o setor de celulose como o setor de papel utilizaram 28% do total produzido no próprio processo produtivo.

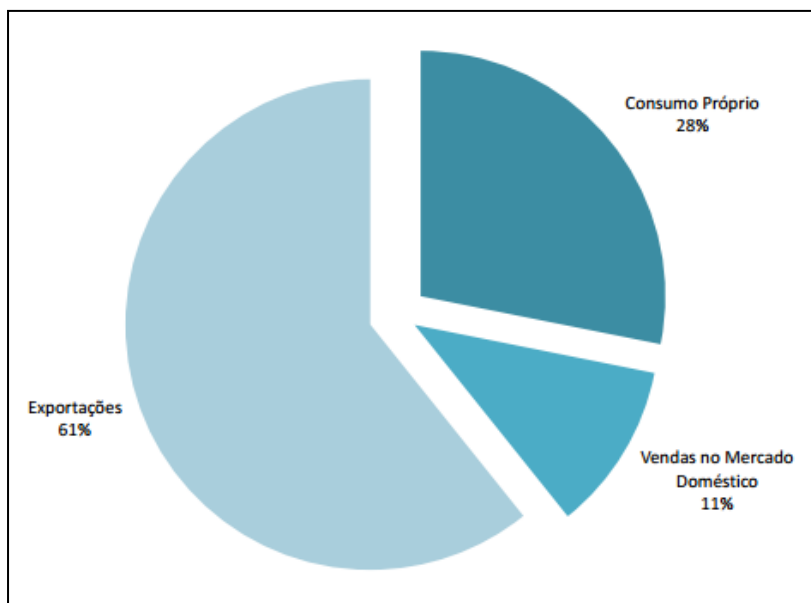


Figura 38: Composição e Destino da Produção de Celulose no Brasil

Fonte: BRACELPA (2012).

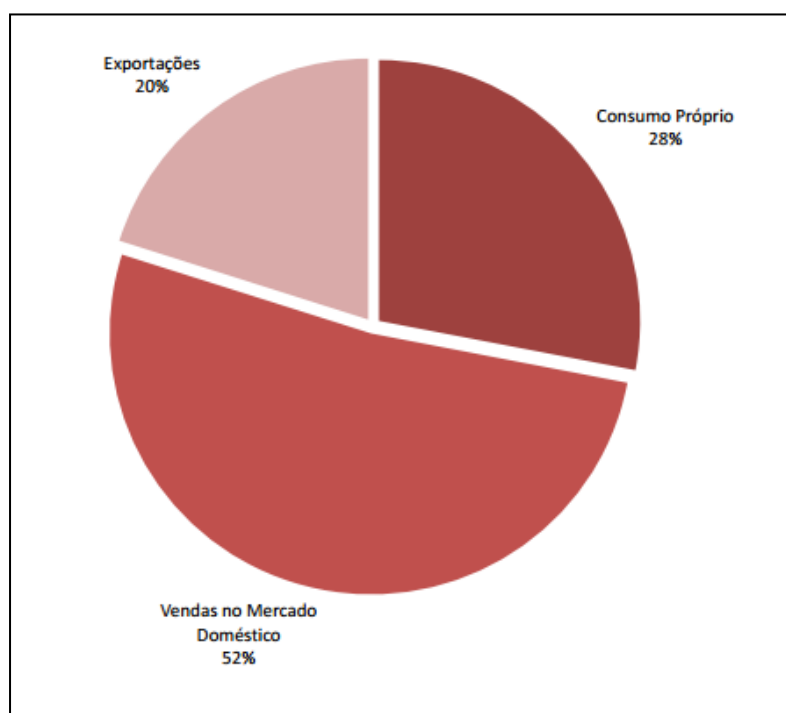


Figura 39: Composição e Destino da Produção de Papel no Brasil

Fonte: BRACELPA (2012).

Segundo o conceito do coeficiente de exportações na estrutura de produção, que pode ser obtida através da relação entre a exportação e a produção total para cada um dos setores da economia, uma participação maior do que 20% das exportações, por unidade de produção, indica que o setor é voltado

para o mercado externo, logo vulnerável ao comércio internacional (WWF, 2017). Nesse sentido, pode-se dizer que a indústria de *Papel e Celulose*, com 21% de exportações por unidade de produção, conforme pode ser observado na Figura 40, é um setor vulnerável à perda de competitividade no comércio internacional, perante países com vantagens comparativas. Embora o indicador seja próximo a 20%, boa parte da produção de celulose, especificamente, é destinada ao mercado externo, concentrada na Europa, Ásia e América do Norte, de modo que esta pode vir a perder competitividade para a China e o Canadá, caso haja a necessidade de repassar para preços tributos incidentes sobre as emissões de carbono do setor, por exemplo.

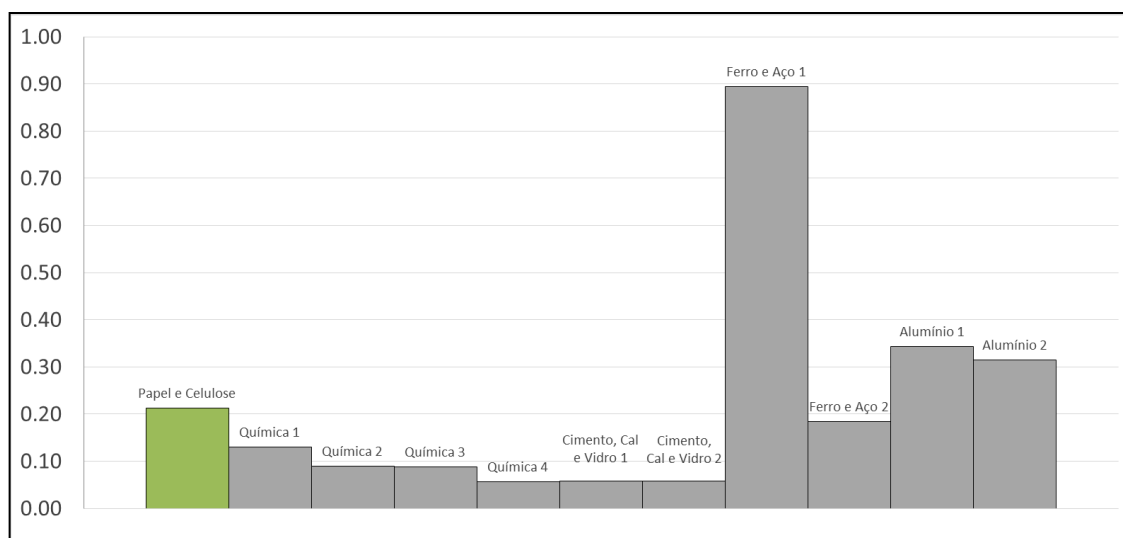


Figura 40: Coeficiente de Exportação para Papel e Celulose, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Em um mundo globalizado, o mercado doméstico também é vulnerável a importações, principalmente em mercados com produto relativamente homogêneos. O coeficiente de penetração das importações é a parcela da oferta interna atendida pelas importações. No Brasil, é possível observar que os produtos do subsetor *Papel e Celulose* apresentam coeficientes de penetração de importação abaixo da média dos setores industriais selecionados do estudo (14%), sendo que cerca de 6% do mercado doméstico é atendido por *Celulose* importados e 7% por *Papel, papelão, embalagens e artefatos de papel*, conforme pode-se observar na Figura 41.

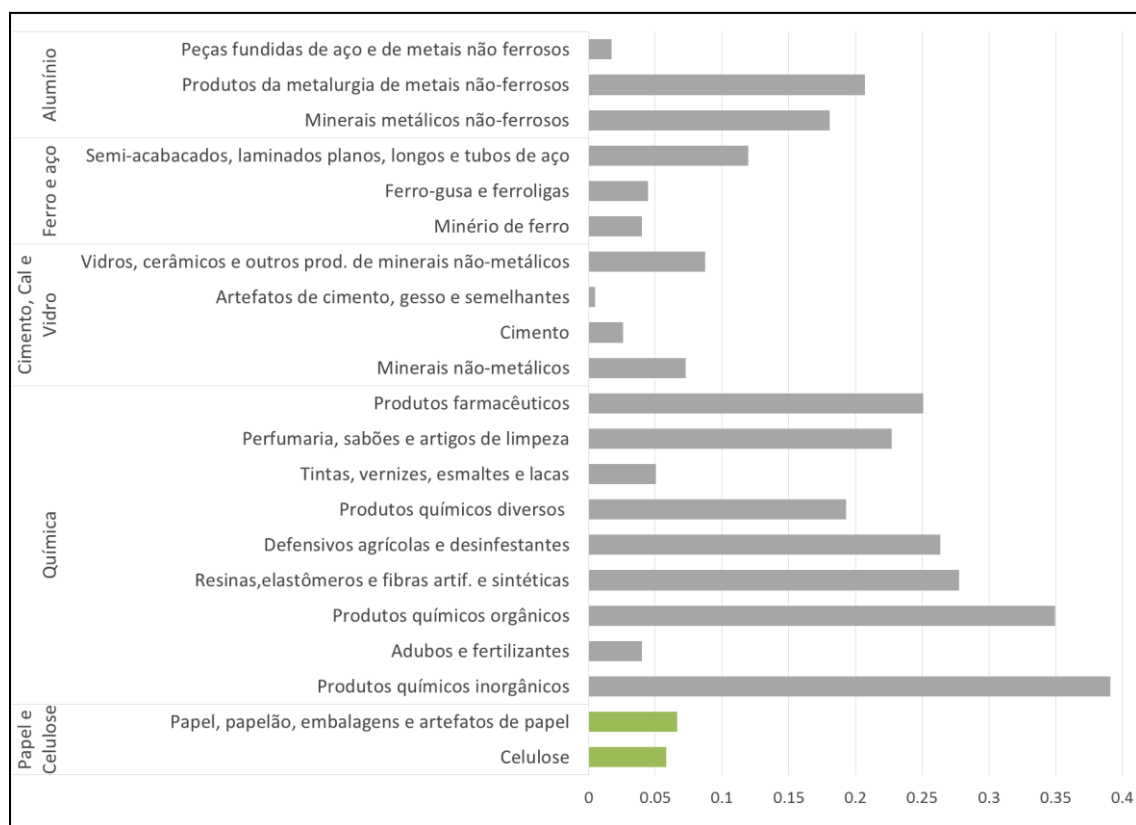


Figura 41: Coeficiente de penetração das importações de Papel e Celulose, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

3.1.5 REFERÊNCIAS

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Panorama de mercado: celulose. BNDES Setorial 32, p. 311-370. Brasília, DF, 2010.

BRACELPA – Associação Brasileira de Papel e Celulose. Conjuntura Bracelpa - Publicação mensal da Associação Brasileira de Celulose e Papel - São Paulo, 2014.

_____. Site Bracelpa. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/34>>. Acesso em 30 de julho, 2014a.

_____. Balança Comercial do Setor – Fevereiro/2014. Publicação mensal da associação brasileira de celulose e papel, rm39, ano 5, nº 58. Disponível em: http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/RM39BalancaComercial58_Fevereiro2014.pdf. Acesso em 30 de julho, 2014b,

_____. Conjuntura Bracelpa - Publicação mensal da Associação Brasileira de Celulose e Papel - São Paulo, 2013.

_____. Conjuntura Bracelpa - Publicação mensal da Associação Brasileira de Celulose e Papel - São Paulo, 2012.

_____. Conjuntura Bracelpa - Publicação mensal da Associação Brasileira de Celulose e Papel - São Paulo, 2011.

_____. Conjuntura Bracelpa - Publicação mensal da Associação Brasileira de Celulose e Papel - São Paulo, 2010.

_____. Conjuntura Bracelpa - Publicação mensal da Associação Brasileira de Celulose e Papel - São Paulo, 2009

CNI – Confederação Nacional da Indústria. Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria: setor papel e celulose. Brasília, 2010.

HENRIQUES JR., M. F. Potencial de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa pelo Uso de Energia no Setor Industrial Brasileiro – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Anuário Estatístico 2014 - Ano Base 2013. Brasília, 2014.

IBGE, 2014. Cadastro Central de Empresas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/cepre/quadros/brasil/2014>

IBGE, 2015. Matriz insumo-produto: Brasil 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/matrizinsumo_produto/2010/default.shtm

IBGE, 2017. Biblioteca IBGE – Catálogo: Pesquisa Industrial – PIA

_____, PIA - Pesquisa Industrial anual. Produto, volume 19, número 2. Rio de Janeiro – RJ. 2000.

_____, PIA - Pesquisa Industrial anual. Empresa, volume 31, número 2. Rio de Janeiro – RJ. 2012.

_____, PIA - Pesquisa Industrial anual. Empresa, volume 34, número 2. Rio de Janeiro – RJ. 2015.

LOPES, C. R. A. Análise da Indústria de Papel e Celulose no Brasil. Dissertação de mestrado. Instituto de Pós-graduação e Pesquisa em Administração – COPPEAD/ UFRJ. Rio de Janeiro, 1998.

MCGILVRAY, J., 1977, Linkages, key sectors and development strategy. In.: Leontief, W. (Ed.). Structure, system and economic policy. Cambridge: University Press.

PITON, G. L. Caracterização do Setor de Papel e Celulose no Período Recente. Instituto de Economia – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2015.

PÖYRY. A indústria de celulose e papel no Brasil - A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL NA PRIMEIRA DÉCADA DO SÉCULO XXI – ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O QUE PODERÁ AINDA ACONTECER. Guia ABCTP – Fornecedores e Fabricantes – Celulose e Papel 2015/2016.

SECEX (AliceWeb), 2017. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em <http://aliceweb.mdic.gov.br/>. Acesso em: 08/2017

VIANA, C. C. O. A internacionalização das indústrias brasileiras de papel e celulose. 143 f. Dissertação (Mestrado em Administração) -Curso de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2012.

WWF, 2017. Medidas Baseadas no Mercado no Transporte Marítimo das Exportações Brasileiras. WWF-Brasil, Brasília, abril de 2017.

3.2 QUÍMICA

A ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química) realiza o acompanhamento estatístico das indústrias químicas, assim, a principal fonte de dados primária utilizada no estudo parte do Anuário estatístico realizado por esta associação. Porém, como se trata de um setor muito grande, que abrange cerca de 3000 produtos e 800 empresas, a ABIQUIM em seu anuário foca suas análises estatísticas no setor de produtos químicos de uso industrial³⁰, o qual é aprofundado neste trabalho. Nesse sentido, por ser um setor composto de um grande número de produtos, análises específicas por produtos não foram aprofundadas no contexto deste relatório.

Por se tratar de um segmento com inúmeros produtores e grande heterogeneidade entre eles, a indústria química muitas vezes é dividida em segmentos que tem alguma similaridade entre si. Os indicadores trabalhados no texto segmentam a indústria química em quatro tipos, de acordo com a desagregação de IBGE (2015): (i) Química 1: *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros*; (ii) Química 2: *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos*; (iii) Química 3: *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal*; e (iv) Química 4: *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos*.

Outras propostas de segmentação podem ser observadas, como a utilizada pela ABIQUIM que considera oito categorias de produtos³¹. Quando, para fins de análise qualitativa do setor, esta e outras classificações forem abordadas, será especificado ao longo do texto os segmentos considerados.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Em termos de valor bruto da produção (VBP), que corresponde a soma de todos os bens e serviços produzidos, tanto produtos finais quanto insumos usados na produção, é possível destacar dentro dos setores industriais do estudo o maior VBP pertencendo ao setor *Química*, com cerca de R\$ 203 bilhões em 2010, representando cerca de 3% VBP nacional em 2010. Este setor representou 10,2% do VBP da indústria de transformação, destacando-se *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* com cerca de 4,5% em 2010, conforme pode ser visualizado na Figura 42.

³⁰ A indústria química de uso industrial pode ser dividida da seguinte forma: petroquímicos básicos, resinas termoplásticas, produtos e preparados químicos diversos, resinas termofixas, elastômeros, intermediários para resinas e fibras, outros inorgânicos, outros orgânicos, intermediários para fertilizantes, gases industriais e cloro e álcalis (ABIQUIM, 2015).

³¹ Segundo ABIQUIM (2015) a indústria química é segmentada em: (i) Produtos químicos de uso industrial; (ii) Produtos farmacêuticos; (iii) Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos; (iv) Adubos e fertilizantes; (v) Sabões e detergentes; (vi) Defensivos agrícolas; (vii) Tintas, esmaltes e vernizes; e (viii) Outros.

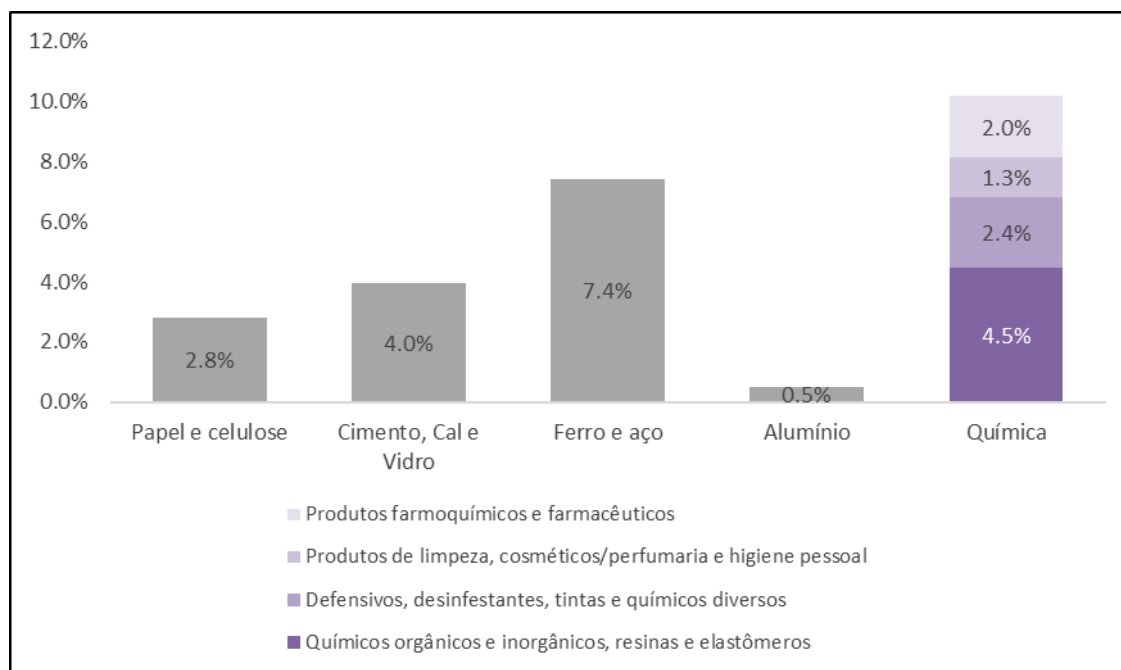


Figura 42: Participação do VBP do setor Química na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Relacionando com os demais setores do estudo, isto é, *Papel e Celulose*, *Cimento, Cal, Vidro* e *Ferro e aço* e *Alumínio*, é possível observar que o setor *Química* é o principal setor, representando 38% do somatório do VBP de todos os setores selecionados em 2010, conforme Figura 43. O segmento *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* liderou representando cerca de 17% do VBP do setor, seguido por *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* com 9%, *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos* com 7% e *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal* com 5%.

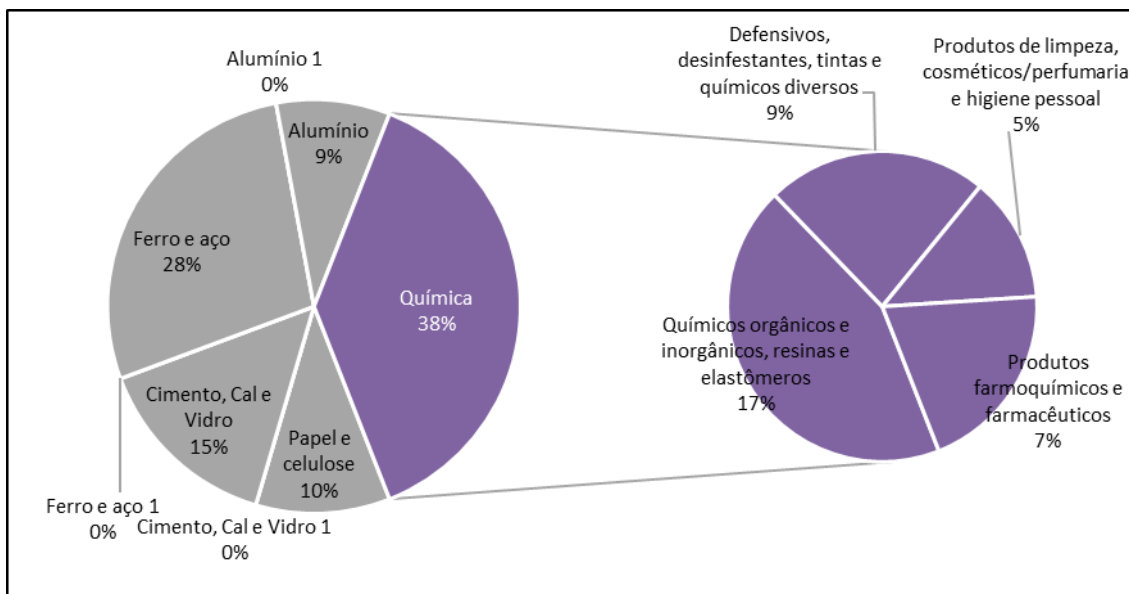


Figura 43: VBP do setor Química x VBP dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Em termos de valor adicionado (VA), o setor *Química* alcançou cerca de R\$ 50 bilhões em 2010, representando cerca de 1,5% do PIB nacional. Dentro do valor adicionado da indústria de transformação, o setor correspondeu, em 2010, a 10,1% do total, onde, dentro dos setores selecionados do estudo, se destacam também *Ferro e aço* (10,8%). O segmento *Fabricação de produtos farmaquímicos e farmacêuticos* foi um dos mais representativos com cerca de 4% do valor adicionado da indústria de transformação, seguido de *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* que representou cerca de 3% em 2010, conforme Figura 44.

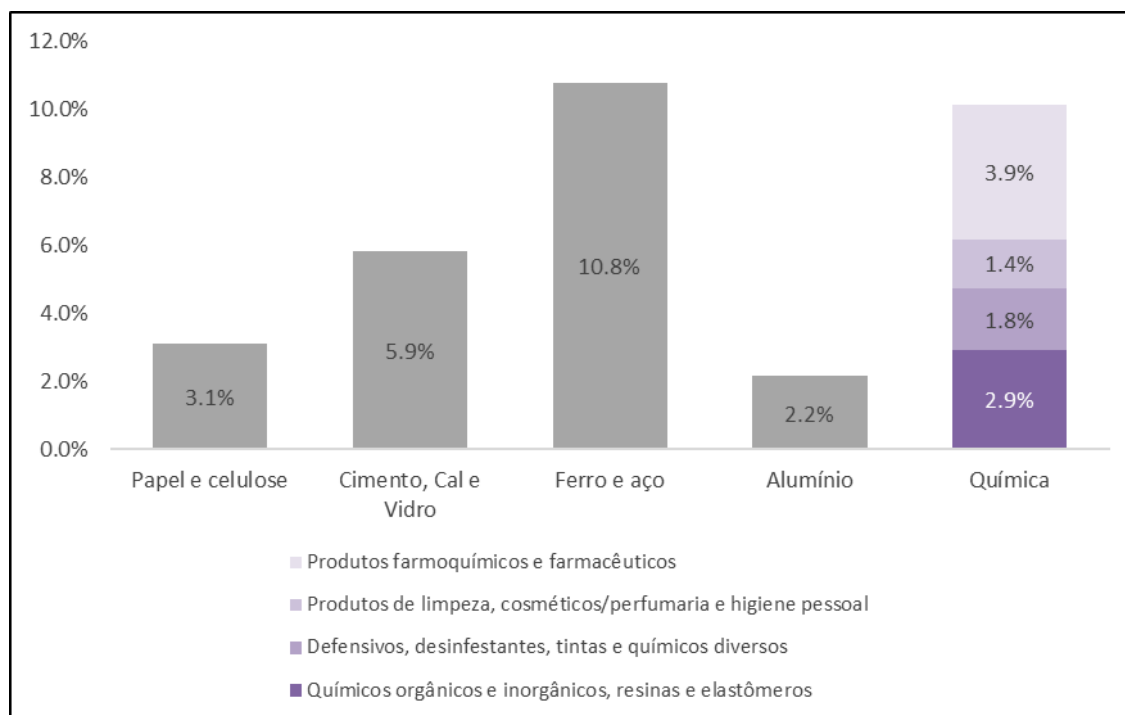


Figura 44: Participação do VA do setor Química na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

De acordo com dados coletados pela ABIQUIM (2015), a indústria química brasileira fechou em 2015 com 2,7% de participação no PIB nacional. Levando em consideração a matriz industrial brasileira, em 2015, o setor químico representou 10,4% desta indústria de transformação, passando para terceira posição no PIB industrial, estimulado, principalmente pela queda da indústria automobilística. Em 2013 a indústria química tinha a quarta maior contribuição, com uma participação de 9,74%.

O setor *Química* relacionado ao somatório do valor adicionado dos setores selecionados do estudo representa 31%, conforme Figura 45, sendo, portanto, o setor de maior representatividade depois do setor *Ferro e Aço*. O segmento *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos* foi um dos mais representativos com cerca de 12% do valor adicionado dos setores selecionados do estudo, seguido de *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* que representou cerca de 9% em 2010.

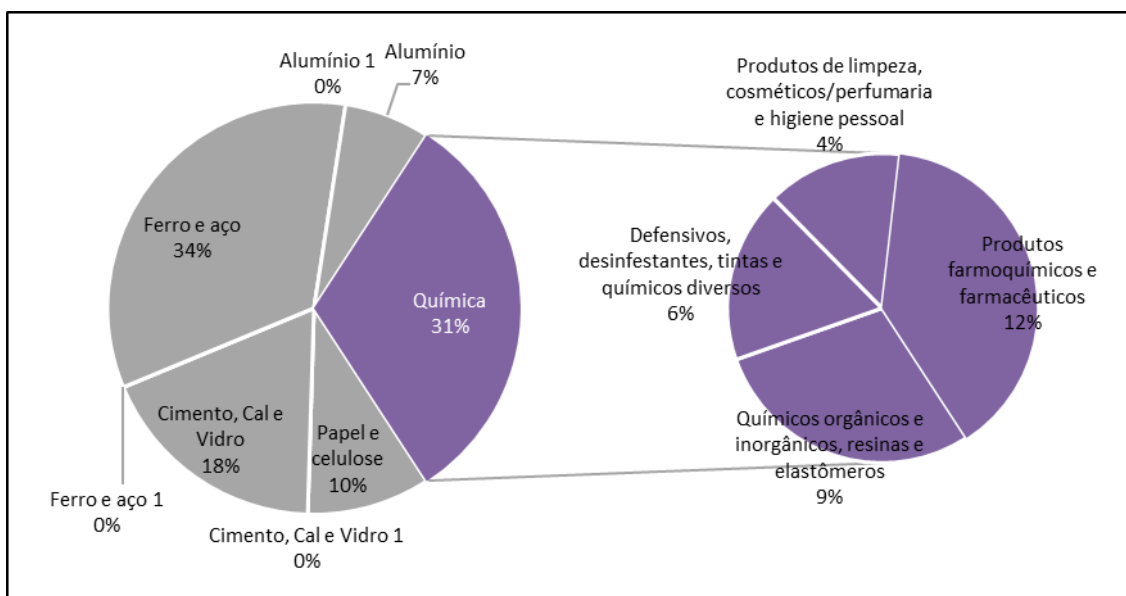


Figura 45: VA do setor Química x VA dos setores seleccionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Ademais, observa-se que a maior parte da produção do subsetor *Química* serve de matéria-prima para outros segmentos e setores (consumo intermediário). Em 2010, conforme Figura 46, cerca de 65% dos *Produtos farmacêuticos* produzidos foram destinados ao consumo das famílias, 26% ao consumo intermediário, 8% ao governo, 2% ao exterior e -1% corresponde à variação de estoque. Por sua vez, os *Produtos químicos orgânicos* e *Produtos químicos inorgânicos* foram destinados, em sua maioria, ao consumo intermediário (84% e 94%, respectivamente), mas também têm sua produção destinada ao mercado externo (12% e 3%, respectivamente). Além disso, destacam-se os produtos *Perfumaria*, *sabões* e *artigos de limpeza*, que tiveram 79% da sua produção destinada ao consumo das famílias, 18% aos demais segmentos e setores e 3% ao exterior.

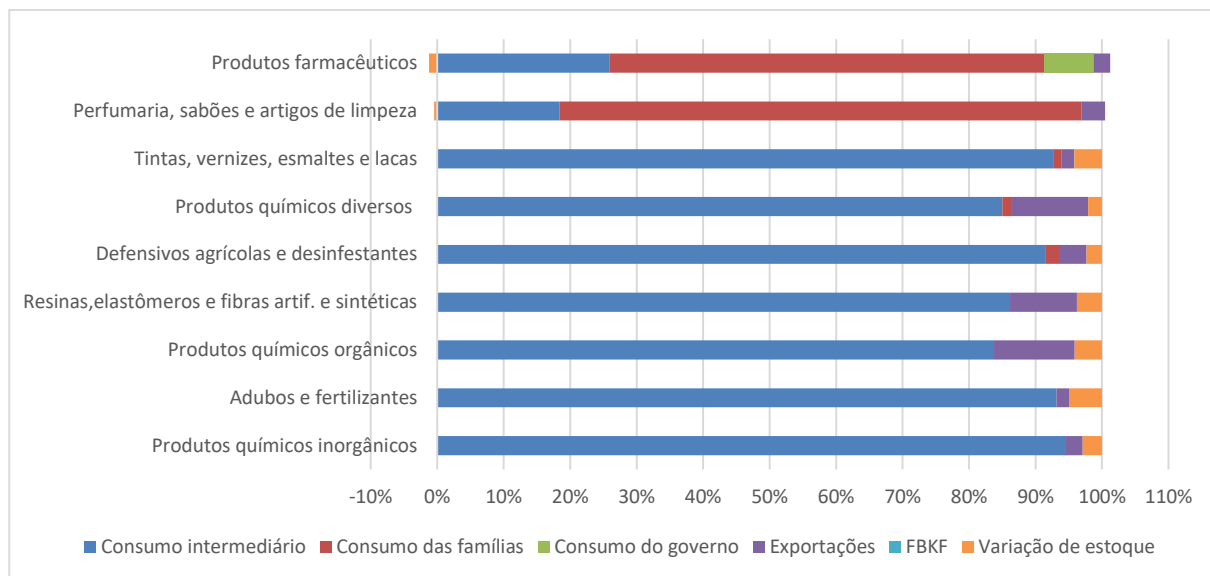


Figura 46: Distribuição das vendas do setor Química, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O faturamento líquido da indústria química nacional foi de R\$ 369,2 bilhões em 2015, o equivalente a US\$ 111,9 bilhões. Em relação ao ano anterior o segmento apresentou um crescimento de 8,0% em real, porém em dólar apresentou uma redução de 28,7% devido à desvalorização da moeda brasileira. Desse total, o segmento de produtos químicos de uso industrial contribuiu com 48% do faturamento, o segmento de produtos farmacêuticos representou 12% do total e os demais segmentos somados responderam por 40% (ABIQUIM, 2015).

Neste ano, a indústria química brasileira apresentou o oitavo maior faturamento mundial, representando apenas 2,1% do total. A China que faturou US\$ 1,9 trilhões em 2015 respondeu por quase 37% do total faturado, seguida pelos Estados Unidos, com 15%, e Japão com 4,9%. Nos últimos anos o Brasil perdeu sua posição para países como a França e Índia, sendo que, em 2012, o Brasil possuía o sexto maior faturamento do setor, correspondendo a 2,9% do total. (ABIQUIM, 2015).

Dentre os segmentos da indústria química que mais contribuíram para a queda do faturamento em 2015 estão os segmentos de uso final de produtos farmacêuticos e higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, que apresentaram uma redução de 51% e 31% respectivamente (Figura 47).

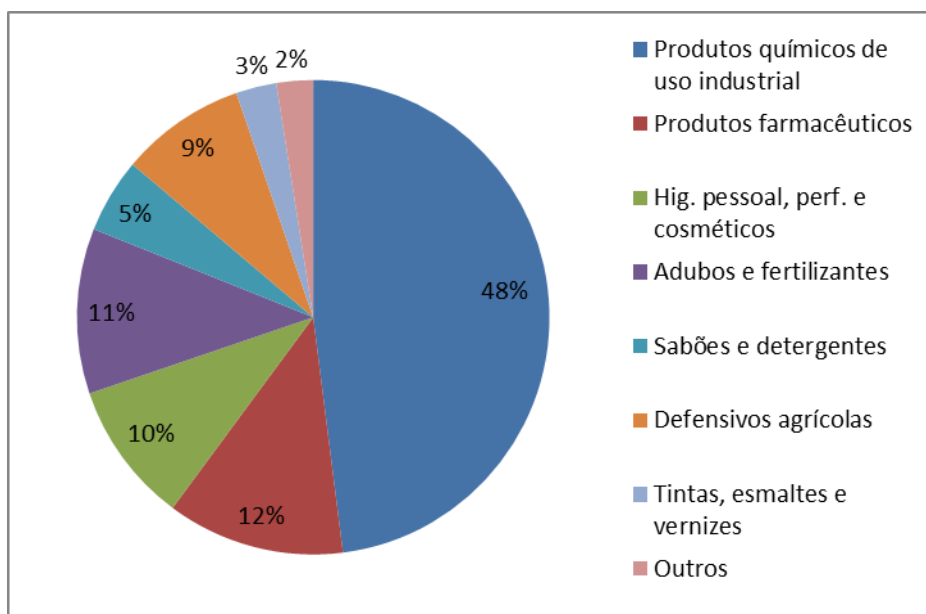


Figura 47: Faturamento da indústria química em 2015 por segmento

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de ABIQUIM (2015).

Dados estimados pela ABIQUIM (2016) para 2016 mostram uma perspectiva de melhora, com um aumento de 1,3% em relação a 2015. O faturamento da indústria química tem crescido consistentemente ao longo dos anos, considerando os valores em reais, apresentando uma retração no ano de 2009. Devido às oscilações da moeda brasileira nos últimos anos, o faturamento da indústria em dólar não mostra o mesmo comportamento – conforme Figura 48 - apresentando momentos de estagnação, como entre 2011 e 2014.

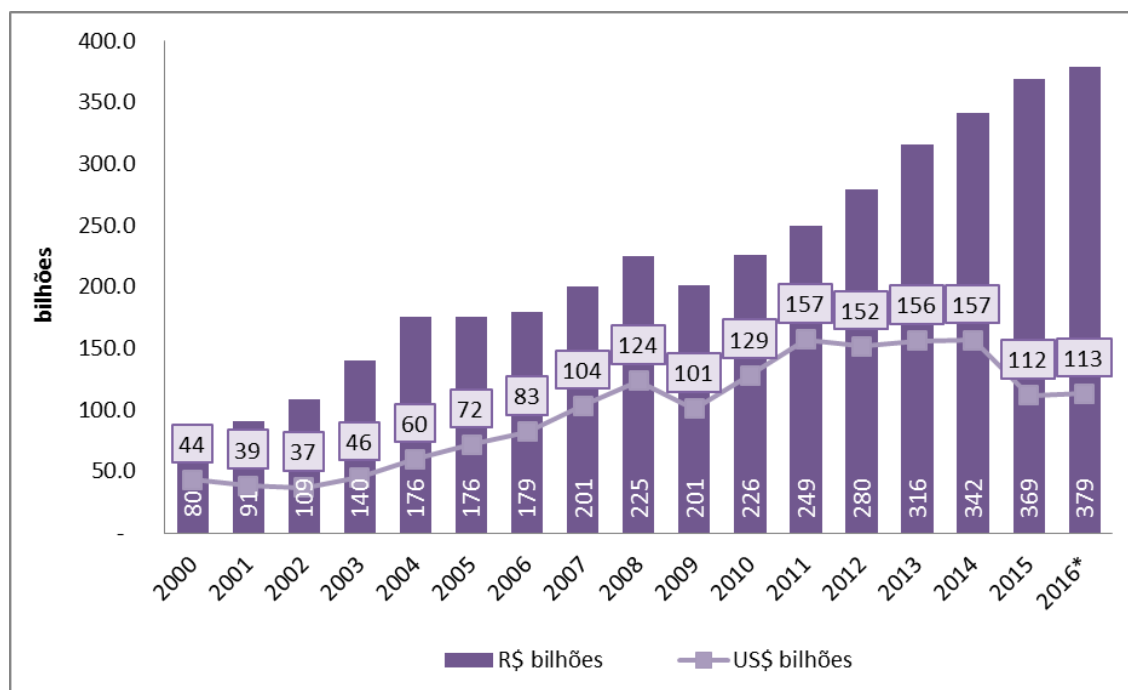


Figura 48: Evolução do faturamento líquido da indústria química brasileira (2000-2016)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABIQUIM (2016).

Ao longo dos últimos dez anos, os segmentos de defensivos agrícolas, adubos e fertilizantes e higiene, perfumaria e cosméticos apresentaram uma taxa média de crescimento do faturamento de 8,8%, 8,4% e 5,1% ao ano, respectivamente, sendo os principais impulsionadores da taxa média de crescimento da indústria química de 3,2% a.a. O setor de químicos de uso industrial, juntamente com o farmacêutico apresentaram taxas anuais de crescimento abaixo da indústria química como um todo, com 1,9% a.a. e 1,3% a.a (ABIQUIM, 2015).

Os segmentos que mais se destacam dentro dessa categoria são os petroquímicos básicos, resinas termoplásticas, produtos e preparados químicos diversos e outros orgânicos. Segundo dados de 2013, a distribuição dentro deste segmento ficou conforme mostra a Figura 49, onde a petroquímica respondeu por 18% do total faturado (DIEESE, 2015). Estimativas do faturamento do segmento de uso industrial químico em 2016 mostram uma redução da participação dos petroquímicos básicos, com 15% apenas, passando a quarta maior contribuição (ABIQUIM, 2016).

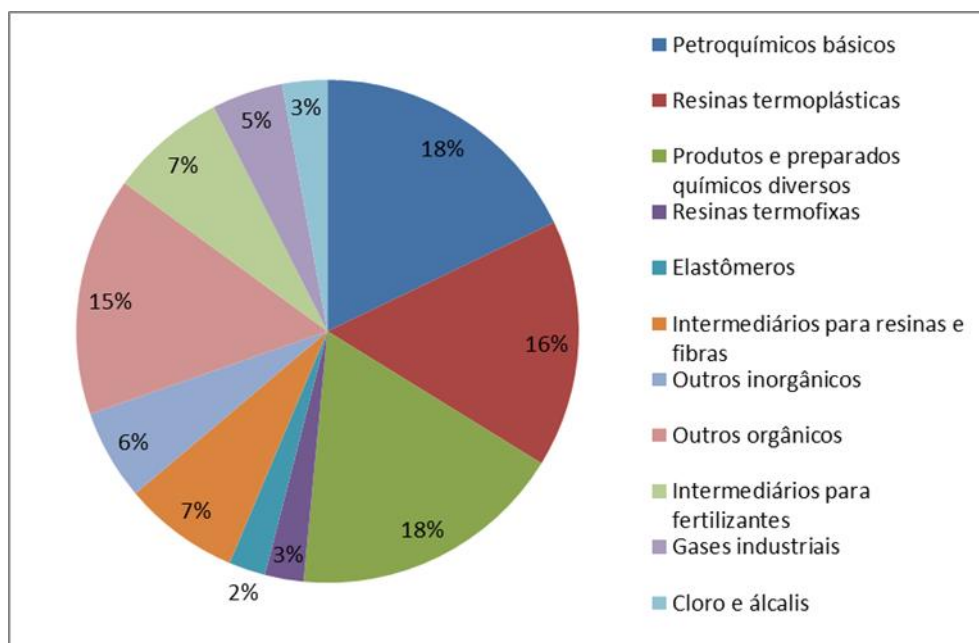


Figura 49: Distribuição do faturamento do segmento de químicos para uso industrial em 2013

Fonte: Elaboração própria a partir de DIEESE (2015).

Dados estimados para a indústria química de uso industrial mostram um possível aumento de faturamento de 2,2% em 2016 em relação ao ano anterior. Pela sua relevância na indústria química nacional, o comportamento do segmento de uso industrial é um importante fator na recuperação desta indústria (Figura 50). Entre 2013 e 2015 este segmento mostrou retração no seu faturamento em dólar, com decréscimo de 3,9% entre 2013 e 2014 e de 23,0% no ano período seguinte. O segmento de petroquímicos foi o que mais contribuiu para a redução média de 8% a.a. entre 2013 e 2016, com uma retração estimada no período de 14% a.a. (ABIQUIM, 2016).

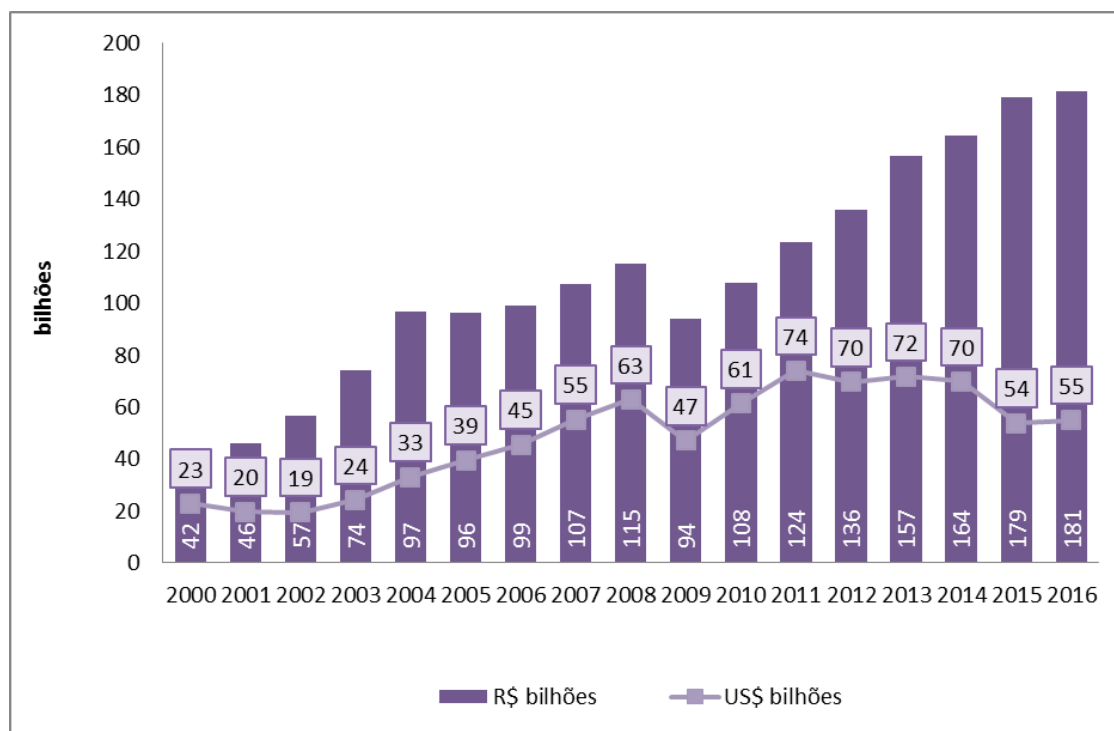


Figura 50: Evolução do faturamento do segmento de químicos para uso industrial (2000-2016)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABIQUIM (2016).

O consumo aparente³² nacional é uma importante variável para avaliar o comportamento da demanda. O consumo aparente nacional de produtos da indústria química cresceu 0,8% entre 2013 e 2014, enquanto a produção nacional caiu 4,5%, as exportações subiram 1,3% e o volume importado teve crescimento de 9,3% (ABIQUIM, 2015). Esse resultado mostra um aumento da participação dos importados no consumo interno de produtos químicos, segundo ABIQUIM (2015) isso pode ser explicado tanto pela perda de competitividade da indústria química brasileira quanto ao fato de o mercado externo estar com excedentes. Isso vem causando também transações de alguns produtos a preços marginais, o que desalinha a oferta e preços de alguns produtos e dificulta a exportação.

Nos últimos anos, pode-se dizer que o aumento da demanda interna de produto químicos está sendo suprido pelo aumento das importações. Entre 1990 a 2014 a taxa anual de crescimento do consumo aparente nacional foi de 3,7%, com a produção crescendo em torno de 2,1%, as exportações também 2,1% e as importações 11,2% (ABIQUIM, 2015). Isso mostra um aumento da fragilidade do setor.

³² Definido como a produção mais a importação menos a exportação (ABIQUIM, 2016)

3.2.2 GRAU DE CONCENTRAÇÃO

De acordo com dados de IBGE (2014), em termos de pessoal ocupado, o setor *Química* representa cerca de 5% do setor da indústria de transformação, com mais de 450 mil pessoas, como pode ser observado na Figura 51. O setor é o mais representativo dos setores industriais selecionados do estudo com 38% de pessoas ocupadas, de modo que se destacam os segmentos *Fabricação de produtos farmacêuticos* e *Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal* com 25% do total de pessoas ocupadas cada.

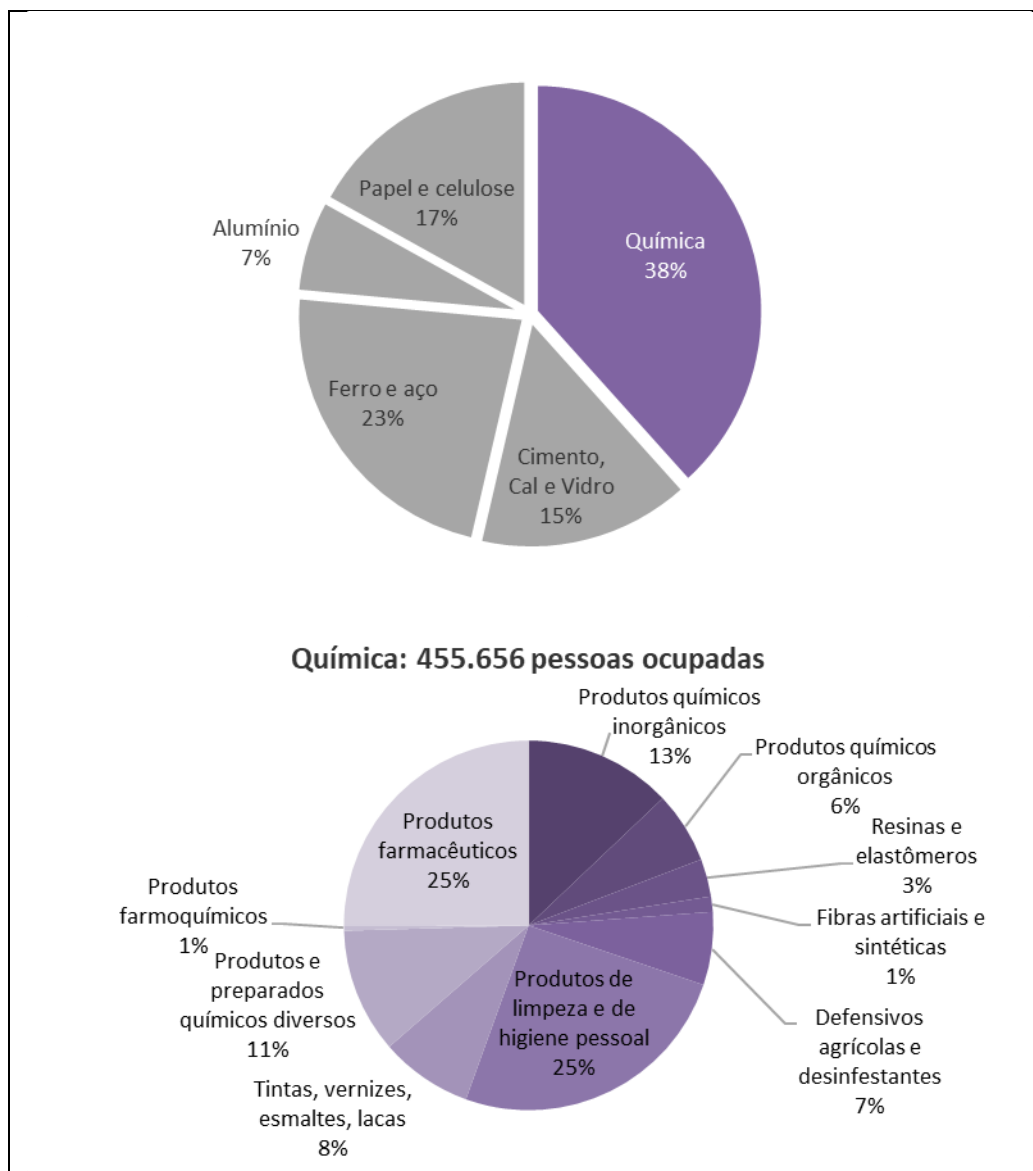


Figura 51: Coeficiente de Pessoal Ocupado para Química, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

O índice de Razão de Concentração (CR) é utilizado para determinar a participação de grandes empresas no mercado. Seu resultado deve variar entre 0 (zero) e 100 (cem), onde “0” representa uma

situação de concorrência perfeita e “100” indica uma condição de concentração intensa. De acordo com os dados de IBGE (2014), os quais estimam os índices de concentração econômica a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas³³, os índices CR do setor *Química* são inferiores às médias dos setores industriais selecionados do estudo, como pode-se observar na Figura 52. Contudo, a partir de uma análise mais detalhada das empresas dentro de cada segmento/produto do setor é possível observar maiores graus de concentração. Ainda na Figura 52, destaca-se o segmento *Defensivos agrícolas e desinfestantes*, que apresentou um total de 215 empresas em 2014, os índices CR chegaram a 84,8 (CR12), um dos maiores dentre os segmentos dos setores selecionados. Além disso, os segmentos de *Fibras artificiais e sintéticas* e *Produtos farmoquímicos* também apresentaram altos índices CR em 2014: 81,3 e 62,4, respectivamente (CR12); os demais índices podem ser visualizados na Figura 52.

³³ Vale ressaltar que em termos de capacidade instalada o índice CR tende a ser superior ao estimado via pessoal ocupado, tendo em vista a convivência de grandes e microempresas.

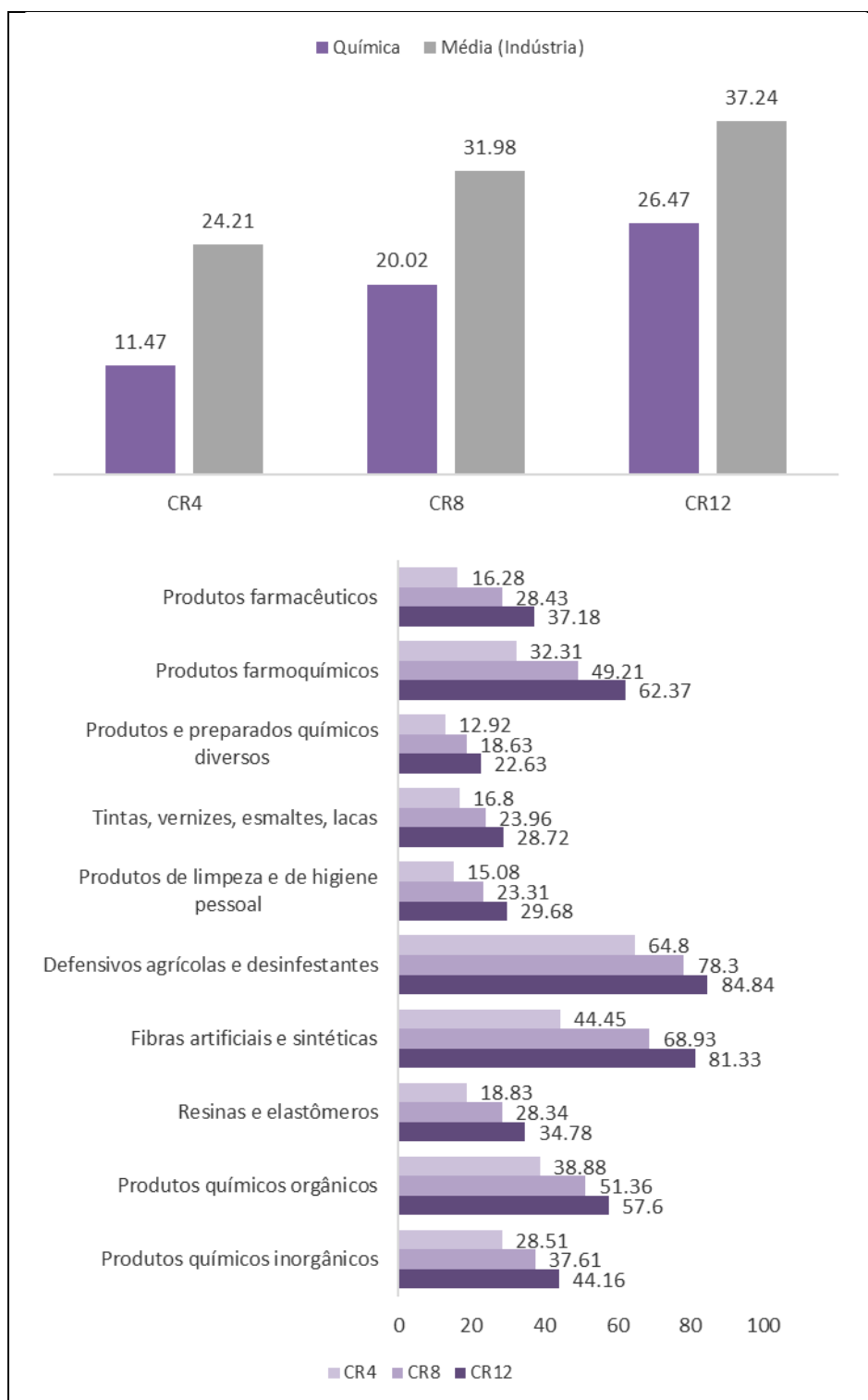


Figura 52: Índices de Razão de Concentração* para Química, 2014

Fonte: IBGE (2014).

* Índices de concentração econômica estimados a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas. A média da indústria inclui apenas os setores selecionados neste estudo.

Ainda a partir dos dados de IBGE (2014), foi possível construir gráficos que relacionam o número de empresas com a quantidade de pessoal ocupado para cada segmento dos setores industriais selecionados do estudo. De acordo com o nível de desagregação dos dados, foi possível diferenciar o gráfico do setor *Química em Fabricação de produtos químicos e Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos*. No primeiro caso, conforme Figura 53, podemos observar uma predominância de empresas com poucas pessoas empregadas, sendo a faixa de 0 a 4 pessoas ocupadas superior a soma das faixas de 5 a 9 e 10 a 19; além disso, há poucas empresas com 250 ou mais empregados. No segundo caso, conforme Figura 54, pode-se observar uma maior representatividade de empresas com número de empregados maior que 100 pessoas.

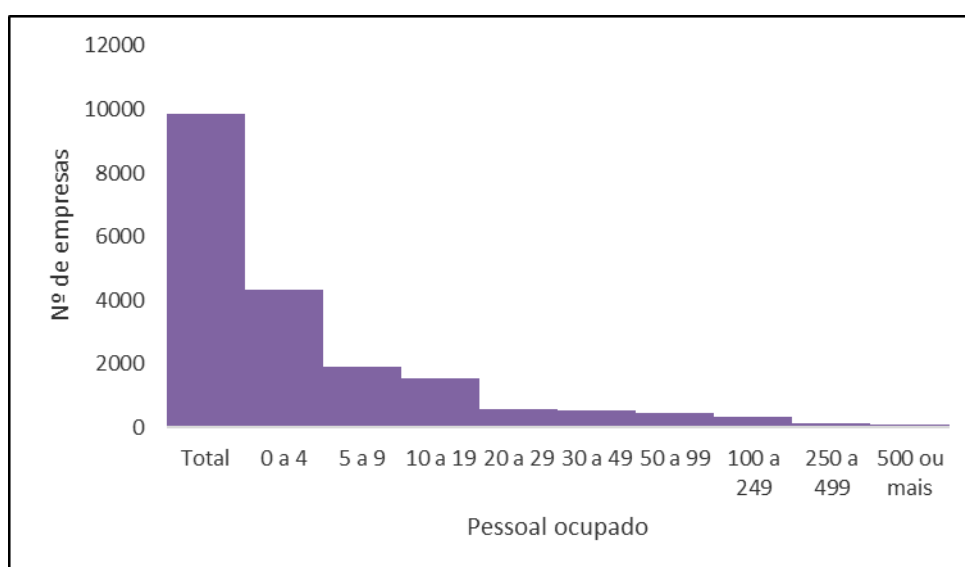


Figura 53: Número de empresas x Pessoal ocupado para Produtos Químicos, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

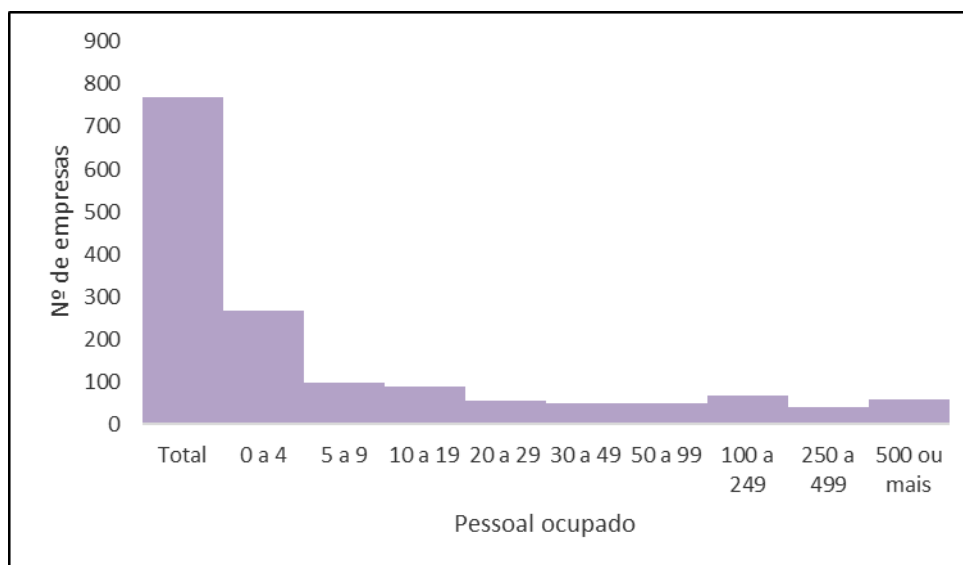


Figura 54: Número de empresas x Pessoal ocupado para Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

O setor da indústria química, conforme mencionado anteriormente, é composto por cerca de 800 empresas e abrange aproximadamente 3 mil produtos (ABIQUIM, 2015). No segmento de produtos químicos de uso industrial o Brasil conta hoje com 976 fábricas, que estão distribuídas conforme Figura 55. Grande parte destas fábricas se encontra no estado de São Paulo, 57% do total. A região Norte e a região Centro-Oeste se destacam pela escassez das indústrias químicas deste segmento.

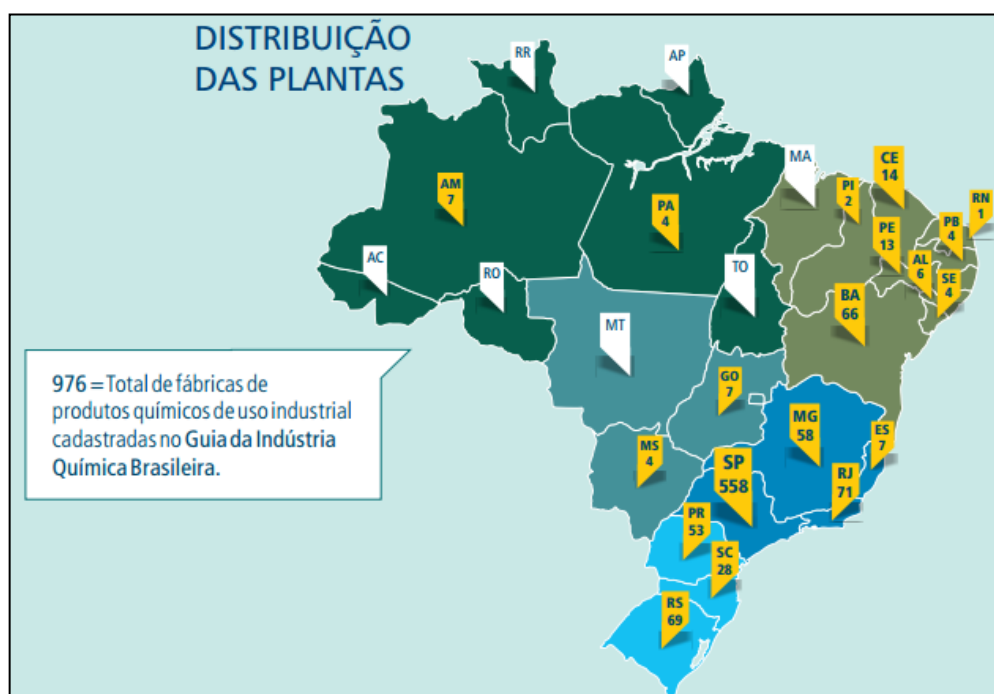


Figura 55: Distribuição das plantas de produtos químicos de uso industrial no Brasil

Fonte: ABIQUIM (2016).

No segmento de petroquímica básica, a Braskem se destacava como a maior produtora com cerca de 44% da capacidade instalada de matérias-primas petroquímicas, segundo dados de 2006 coletados em CNI (2010) e é a única petroquímica integrada de primeira e segunda geração de resinas termoplásticas no país. Com escritório sede localizado em São Paulo a empresa conta com 29 unidades industriais instaladas no Brasil, nos estados de Alagoas, Bahia, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo, além de unidades instaladas nos Estados Unidos (5), México (4) e Alemanha (2) (BRASKEM, 2016)

Considerando toda a sua capacidade produtiva mundial, esta chega a 16 milhões de toneladas, e em 2015 teve um faturamento de R\$ 54 bilhões. A Braskem respondeu neste ano por cerca de 70% da demanda do mercado de resinas brasileiro (BRASKEM, 2016). Em 2006 sua capacidade era de 7,9 milhões de toneladas por ano no Brasil (CNI, 2010). Em 2007 a Braskem adquiriu a Copesul, que era a segunda maior produtora do ramo petroquímico no Brasil, consolidando assim sua posição como líder. Em 2015 segue como líder no segmento petroquímico de primeira geração, onde conta com uma capacidade de 7,7 milhões de toneladas por ano (ABIQUIM, 2015).

3.2.3 INDICADORES DE ENCADEAMENTO INTERSETORIAL E EFEITO MULTIPLICADOR

A partir de dados da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), foram obtidos os índices de ligação Rasmussen-Hirschman (RH). De acordo com o critério de MCGILVRAY (1977), se os setores apresentarem índices de ligação para frente (que expressa o quanto um setor é demandado pelos outros), e/ou para trás (que mostra o quanto um setor demanda dos outros) maiores do que 1 podem ser classificados no conceito restrito como setores-chave. Este é o caso da maioria dos segmentos industriais do Brasil, os quais demonstram alto poder de encadeamento com atividades tanto à jusante, as quais demandam matérias-primas para a elaboração de produtos com maior valor adicionado, quanto à montante da economia.

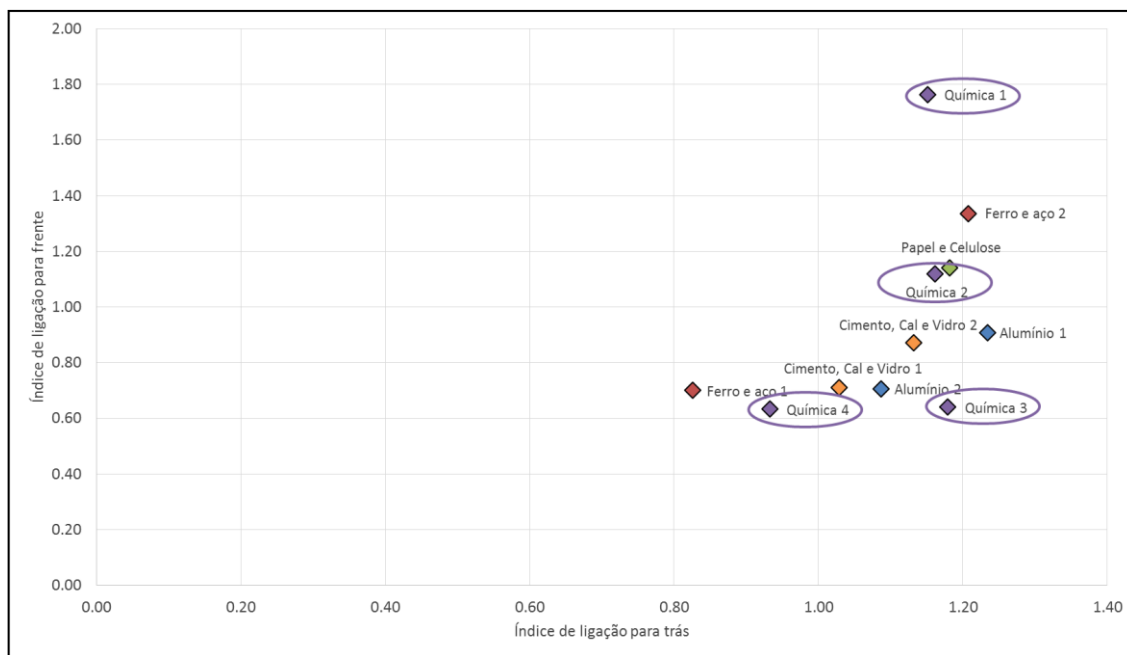


Figura 56: Índices de ligação Rasmussen-Hirschman para Química, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Conforme a Figura 56, observa-se que os segmentos *Química 1* e *2*, os quais representam, respectivamente, a *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* e *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos*, consistem em setores-chave na economia brasileira, pois apresentam índices de ligação para trás e para frente superiores a unidade. *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* apresenta alto poder de encadeamento ao representar o maior índice de ligação para frente, dentre os segmentos dos setores selecionados do estudo, no valor de 1,76, enquanto que seu índice de ligação para trás é de 1,15. Destaca-se também o segmento *Química 3*, que representa *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal*, apresentando um dos maiores índices de ligação para trás dentre os setores selecionados do estudo. Já *Química 4*, que representa *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos*, apresentou índices de ligação para frente e para trás inferiores a unidade, demonstrando pouco poder de encadeamento.

A análise da estrutura econômico-produtiva dos segmentos industriais nacionais também foi realizada através da obtenção dos multiplicadores totais (tipo II) setoriais: de renda, de produção, de emprego e tributário. Em 2010, o multiplicador de renda médio da economia foi de 3,94 e o setor *Química* apresentou multiplicadores de renda superiores à média, exceto *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos* (*Química 4*) com 3,68, conforme Figura 57. Para cada aumento exógeno de R\$ 1 milhão nas remunerações de *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* (*Química 1*) seriam gerados R\$ 5,96 milhões de remunerações em toda a economia, considerando os efeitos diretos, indiretos e induzidos. Para *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* (*Química 2*) seriam gerados R\$ 4,83 milhões de remunerações em toda a economia, enquanto

que para *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal* (Química 3) R\$ 4,72 milhões. Em termos de produção, ainda na Figura 57, apenas *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal* (Química 3) apresenta multiplicador igual à média da economia (4,39). Os demais subsectores da indústria química apresentam multiplicadores de produção inferiores. Assim, é necessária uma produção total na economia no valor de R\$ 4,24 milhões para satisfazer cada R\$ 1 milhão de demanda final da atividade *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* (Química 2). Para cada R\$ 1 milhão de demanda final da atividade *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos* (Química 4) é necessário a produção total de R\$ 3,72 milhões.

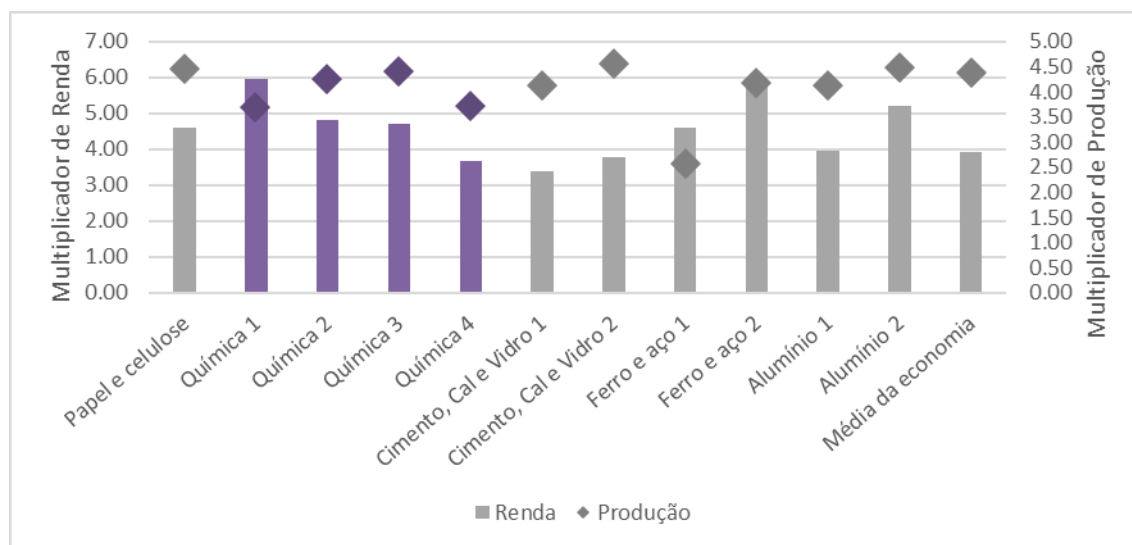


Figura 57: Multiplicadores de renda e de produção para Química, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

No que tange aos multiplicadores de emprego e tributário, é possível observar na Figura 58 os resultados do setor *Química* em 2010. O multiplicador de emprego médio da economia dos setores industriais selecionados do estudo foi de 11,28 e o setor de *Química* apresentou multiplicadores de emprego levemente superiores à média, exceto para *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal* (Química 3) com 6,15. Para cada aumento de uma ocupação de *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* (Química 1), considerando efeitos diretos, indiretos e induzidos, seriam geradas 27,02 novas ocupações em toda a economia. O mesmo aumento na *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* (Química 2) geraria 17,82 novos empregos em toda a economia. Em termos de tributos, ainda na Figura 58, o setor *Química* apresentou multiplicadores relevantes dentre os setores industriais selecionados, de modo que para cada R\$ 1 de elevação nos tributos na *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* (Química 2) seriam gerados R\$ 3,99 de receita de impostos, líquidos de subsídios, sobre a produção e a importação em toda a economia. Destaca-se também *Fabricação de produtos de*

limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal (Química 3) que gerariam R\$ 3,80 de arrecadação em toda a economia, considerando um aumento de R\$ 1 nos tributos da atividade.

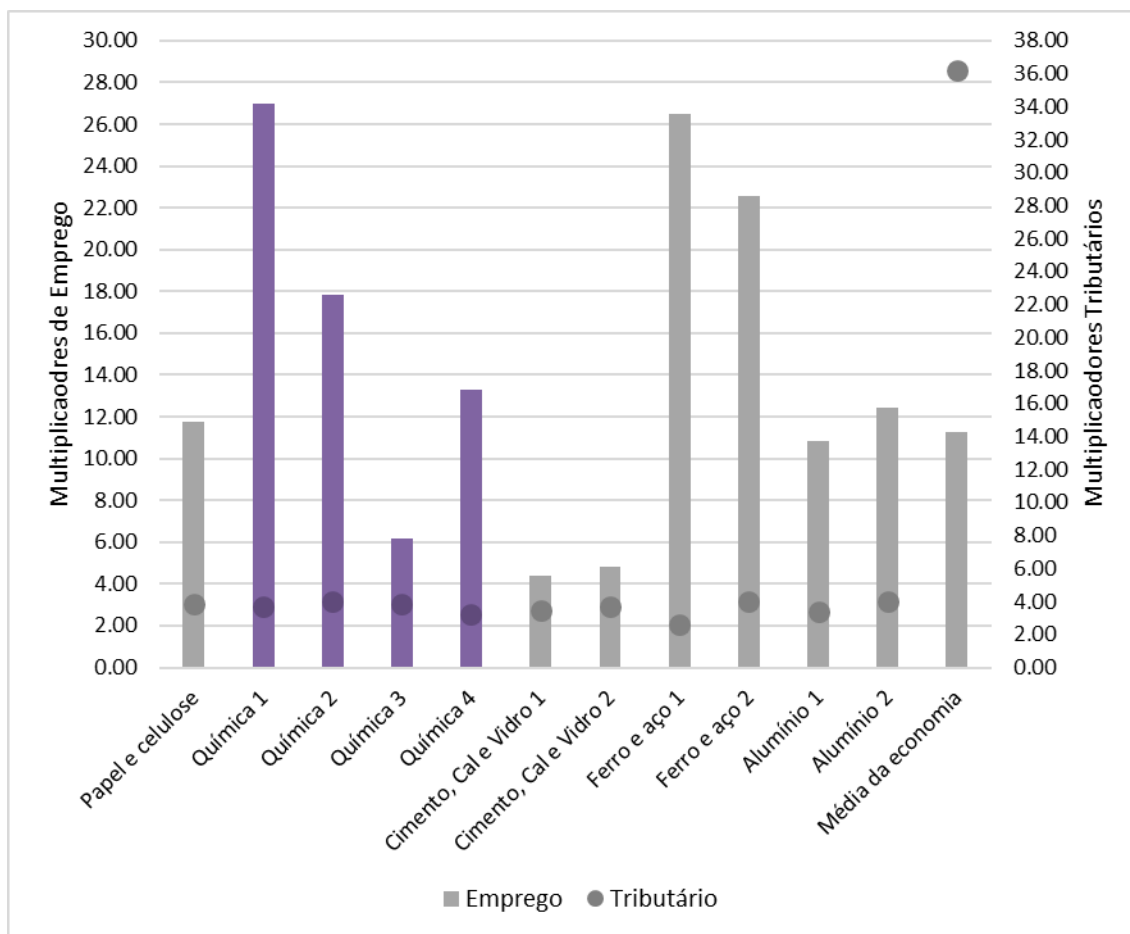


Figura 58: Multiplicadores de emprego e tributários para Química, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O desempenho do setor químico, especialmente do segmento de produtos químicos para uso industrial, pode ser um relevante indicador da atividade econômica (DIEESE, 2015). Com a redução da atividade industrial, a demanda por produtos químicos tem ficado em níveis baixos. Dados de índice de produção e vendas internas de produtos químicos para uso industrial mostram que o índice de vendas internas sofreu quedas maiores que o índice de produção, o que pode indicar uma baixa atividade econômica dos outros setores industriais consumidores de químicos (ABIQUIM, 2016).

Junto com a demanda, houve redução de 19,4% do volume importado entre 2014 e 2015 (ABIQUIM, 2016). Além da preocupação do setor com a redução da demanda direta por produtos químicos, outro ponto de atenção diz respeito à possível substituição da procura por esses produtos por importação de bens acabados (DIEESE, 2015).

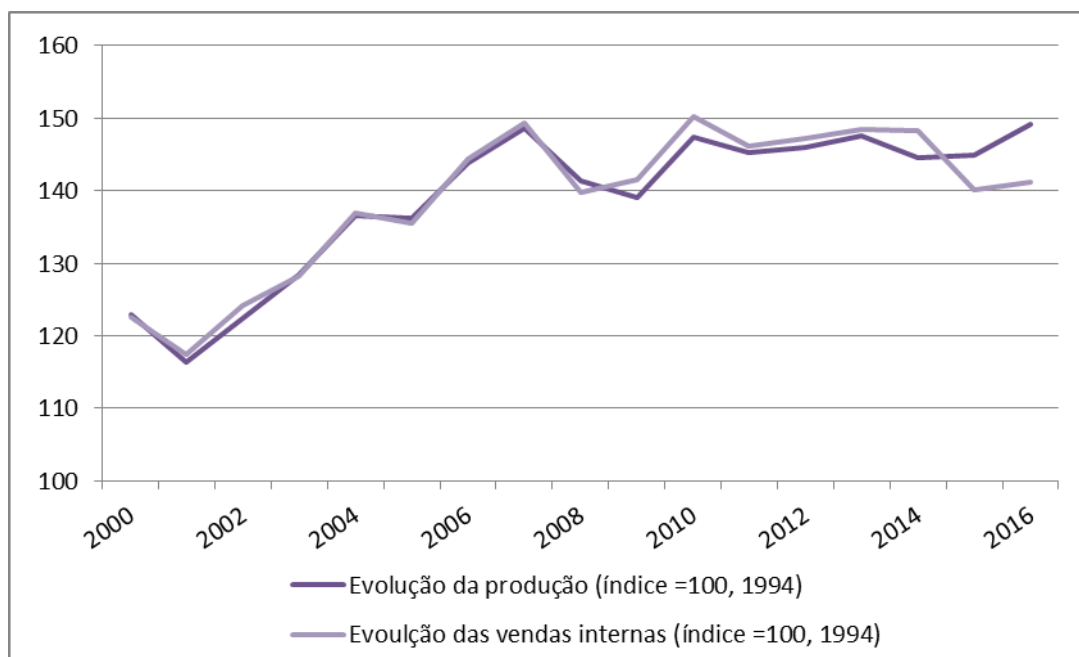


Figura 59: Evolução dos índices de produção e vendas do segmento da indústria química de químicos de uso industrial (2000 – 2016)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABIQUIM (2016).

3.2.4 VULNERABILIDADE EXTERNA

A indústria química mundial faturou US\$ 5,4 trilhões em 2014. Nesse ano, a China alcançou um faturamento de US\$ 1.831,4 bilhões, o que equivale a 34% do total faturado por essa indústria, seguido dos EUA com US\$ 880,6 bilhões (Figura 60). O Brasil pelo quarto ano consecutivo teve o sexto maior faturamento da indústria química, US\$ 146,7 bilhões, seguido pela França, US\$ 144,7 bilhões (ABIQUIM, 2015).

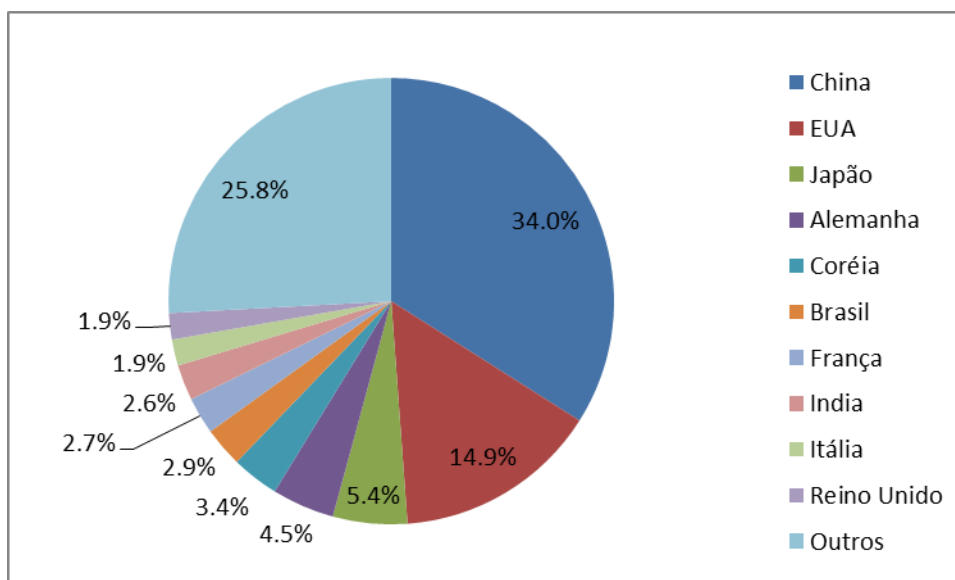


Figura 60: Participação dos principais países no faturamento líquido da indústria química mundial em 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de ABIQUIM (2015).

Entre 2004 e 2014 a China apresentou um crescimento total de 711%, em torno de 23,3% a.a., enquanto a indústria mundial cresceu 8,5% a.a. naquele período. Assim, desde 2009 os EUA deixam de ser o país com maior faturamento anual, com a China tomando esse espaço. O Brasil no período teve um aumento acima da média mundial, de 9,3% a.a. Outros países que apresentaram crescimento anual médio acima do mundial foram Singapura, 11,8% e Índia, 11,5% a.a., este último, inclusive, em 2014 apresentou o oitavo maior faturamento, saindo da 13ª posição em 2004 (ABIQUIM, 2015).

Em 2015, o país perdeu a sexta colocação em termos de faturamento, com US\$ 112 bilhões de dólares figurou na oitava posição, atrás de Índia e França, que passaram, respectivamente para sétimo e oitavo. Os demais países, com os cinco maiores faturamentos, mantiveram a posição encontrada em 2014 (ABIQUIM, 2016).

Considerando a indústria petroquímica, esta apresenta uma reduzida competitividade no mercado internacional, especialmente pela alta proporção de eteno na demanda por olefinas e pelo alto uso de nafta em sua produção, cerca de 2,8 vezes menos produtivo que o gás natural para a produção de eteno (DEPEC, 2017).

Pode-se dizer que a indústria química como um todo tem uma balança comercial tradicionalmente deficitária. Apesar de contar com uma grande diversificação de produtos, segundo levantamento realizado por Dieese (2015), 3.327 produtos químicos fazem parte do comércio exterior brasileiro, o déficit deste segmento industrial está presente tanto nos produtos químicos para fins industriais quanto para produtos de uso final.

Primeiramente, é importante destacar a importância da indústria química no total das transações comerciais brasileiras com o exterior. O peso das exportações da indústria química brasileira perante as exportações total nacional foi de quase quatro vezes menor que o peso das importações em 2015 (DIEESE, 2015). Entre 2008 e 2015 as exportações de produtos químicos oscilaram em torno de 6% do total das exportações brasileiras, enquanto as importações representaram percentuais bastante elevados, em torno de 20%. A situação sugere, segundo DIEESE (2015) um alto grau de dependência externa em relação a estes produtos e, conseqüentemente, um impacto negativo sob as transações correntes do país.

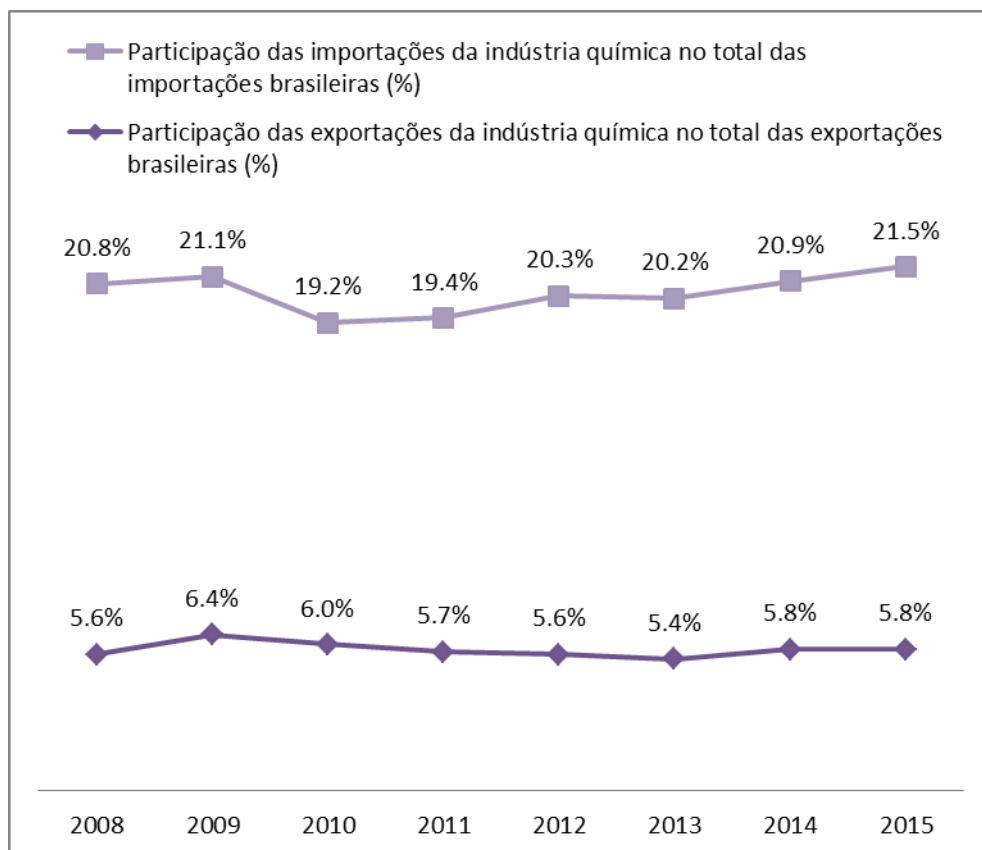


Figura 61: Participação das transações comerciais da indústria química no comércio exterior brasileiro

Fonte: DIEESE (2015).

Em 2015 o déficit da indústria química foi de US\$ 25,5 bilhões, 18% menor que o do ano anterior devido a uma exportação de US\$ 12,8 bilhões FOB, 12% menor que em 2014, e uma importação de US\$ 38,3 bilhões FOB, uma redução de 16%. Em 2013, o déficit da indústria química atingiu seu maior valor, com US\$ 32,0 bilhões FOB negativo, isso por conta do aumento das importações, 12% a.a., acima do nível das exportações, 10% a.a., no período entre 2000 e 2013. O déficit em 2000 era de US\$ 6,7 bilhões FOB e desde 2007 vem aumentando substancialmente, tendo atingido seu maior volume em 2013 (ABIQUIM, 2016).

Segundo BAIN&COMPANY (2014) essa situação pode ser explicada por dois fatores principais: (i) o descompasso entre o crescimento da produção da indústria química nacional e a evolução do consumo doméstico e (ii) o aumento do valor agregado das importações em relação às exportações de produtos químicos.

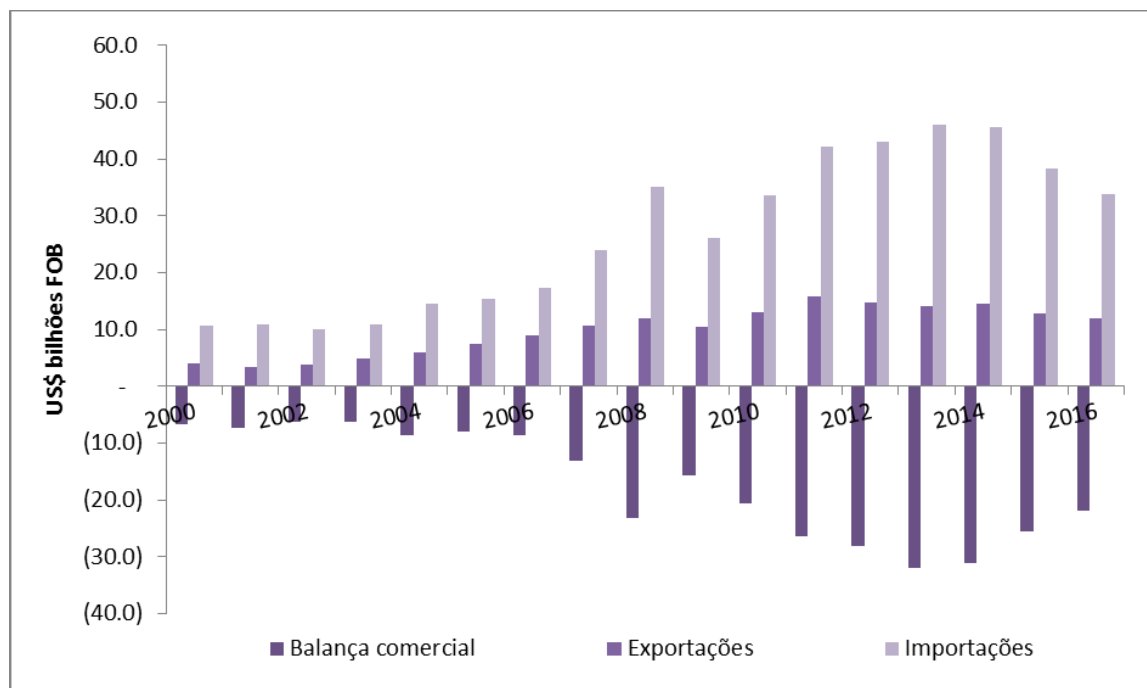


Figura 62: Balança comercial da indústria química brasileira (2000-2016)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABIQUIM (2016) apud SECEX (Alice Web).

O setor que representa os produtos químicos para fins industriais, em 2014, foi responsável por 57,8% das importações totais do ramo, seguido pelos produtos da indústria farmacêutica com 18,7% e dos defensivos agrícolas com 9,2%. Da mesma maneira, os produtos químicos para fins industriais, ainda para o ano de 2014, também foram os principais produtos de exportação, respondendo por 64,6% do total exportado pelo ramo, seguido pelos produtos da indústria farmacêutica e produtos plásticos, cada um com 12,3% (ABIQUIM, 2015).

Ademais, segundo DIEESE (2015) analisando o detalhamento dos produtos, constata-se que dos 3.327 produtos que compõem a pauta da indústria química, 1.803 são exportados (54,2%) e 2.706 são importados (81,3%). Sinteticamente, tem-se uma pauta de importações mais extensa que a de itens de exportação, sendo que 966 itens do total da pauta comercializada (29,0%) possui a condição de apenas importados.

Pode-se dizer que as transações comerciais realizadas são concentradas em poucos países, os cinco maiores importadores de produtos químicos brasileiros responderam em 2014 por 46% das exportações, a Argentina sozinha foi o destino de 16% destes produtos. Já os 5 países de onde o Brasil

mais importa químicos corresponderam a mais de 50% do total importado em 2015, sendo os EUA a origem de 23% destes produtos.

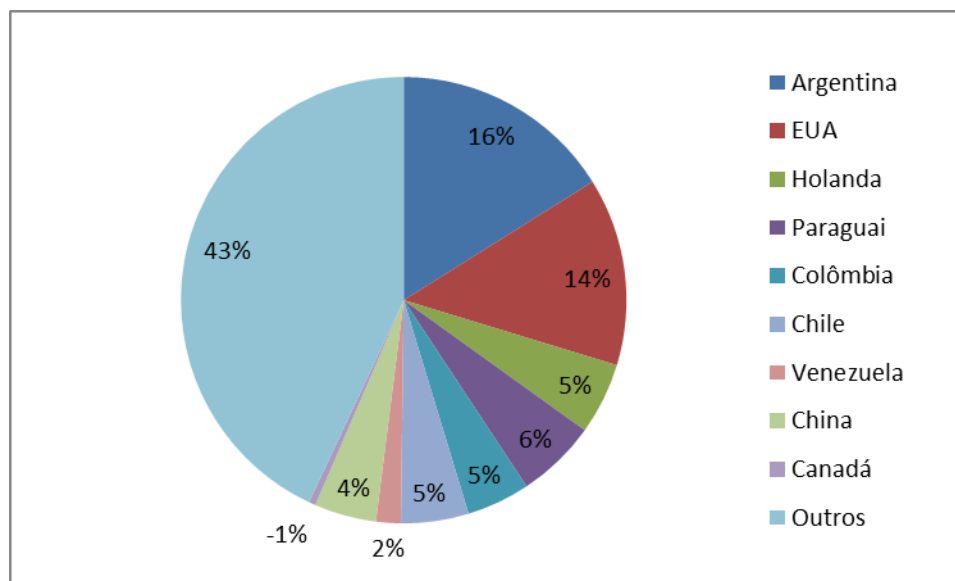


Figura 63: Países de destino das exportações da indústria química brasileira em 2015

Fonte: Elaboração própria a partir de DEPEC (2017).

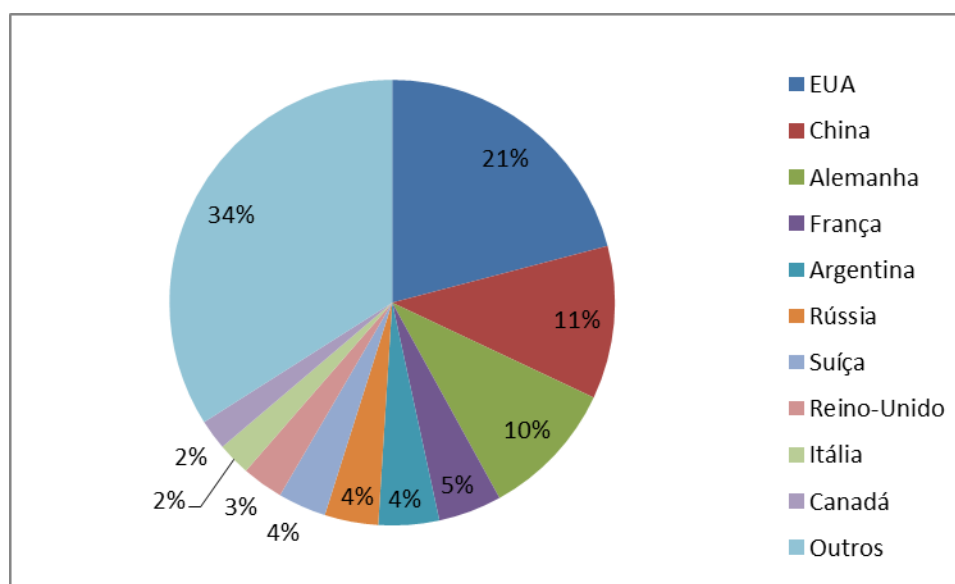


Figura 64: Países de origem das importações da indústria química brasileira em 2015

Fonte: Elaboração própria a partir de DEPEC (2017).

Segundo o conceito do coeficiente de exportações na estrutura de produção, que pode ser obtida através da relação entre a exportação e a produção total para cada um dos setores da economia, uma participação maior do que 20% das exportações, por unidade de produção, indica que o setor é voltado para o mercado externo, logo exposto ao comércio internacional (WWF, 2017). Nesse sentido, em

2010, o setor *Química* aparece como um dos mais vulneráveis à perda de competitividade no comércio internacional, perante países com vantagens comparativas. Conforme a Figura 65, em 2010, *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* (Química 1) representou o segmento mais vulnerável em relação aos demais segmentos do setor Química, com 13% de exportações por unidade de produção, seguido por *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* (Química 2) e *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal* (Química 3) ambos com 9% e *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos* (Química 4) com apenas 6%.

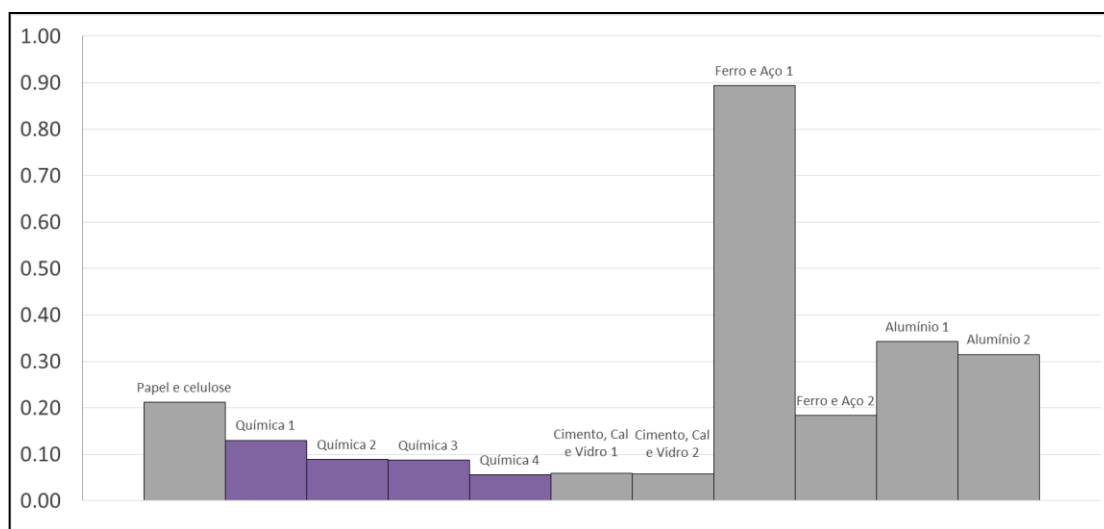


Figura 65: Coeficiente de Exportação para Química, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O coeficiente de penetração das importações é a parcela da oferta interna atendida pelas importações. No Brasil, é possível observar que os produtos do setor *Química*, em geral, apresentaram coeficientes de penetração de importação acima da média dos setores industriais selecionados do estudo (14%) em 2010, conforme a Figura 66. Os principais segmentos nesse indicador são *Produtos químicos inorgânicos*, *Produtos químicos orgânicos* e *Resinas, elastômeros e fibras artificiais e sintéticas*, os quais apresentaram altos coeficientes de penetração de importação, 39%, 34% e 27%, respectivamente. Isto indica a elevada vulnerabilidade da indústria química nacional ao mercado externo. Esta vulnerabilidade tende a aumentar com a expansão da indústria petroquímica norte-americana e do sudeste asiático. Por outro lado, apenas 5% e 4% dos mercados são atendidos por *Tintas, vernizes, esmaltes e lacas* e *Adbos e fertilizantes*, respectivamente.

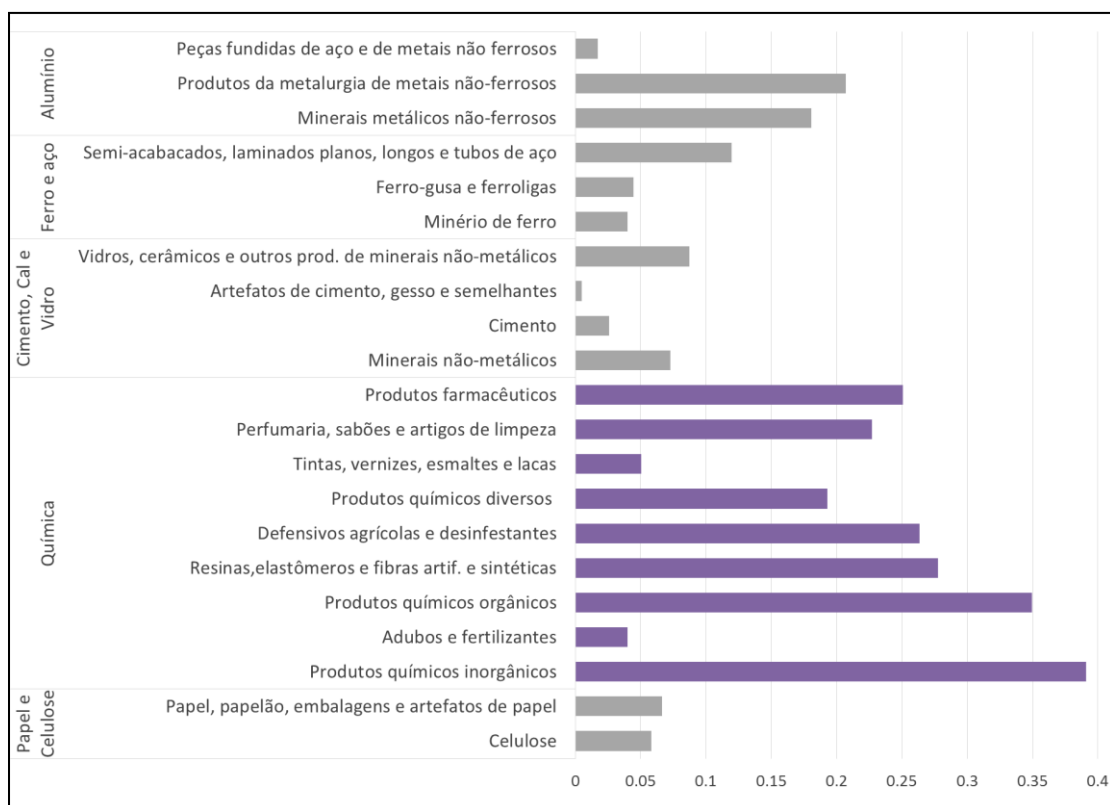


Figura 66: Coeficiente de penetração das importações de Química, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

3.2.5 REFERÊNCIAS

- ABIQUIM, 2010. Pacto nacional da indústria química. Associação Brasileira da Indústria Química. São Paulo, 2010
- ABIQUIM, 2015. Anuário da indústria química brasileira. Associação Brasileira da Indústria Química. São Paulo, 2015
- ABIQUIM, 2016. O desempenho da indústria química brasileira em 2016. Associação Brasileira da Indústria Química. São Paulo, 2016
- BAIN&COMPANY, 2014. Estudo do potencial de diversificação da indústria química brasileira: Relatório final. Bain & Company, São Paulo, 2014.
- BRASKEM, 2016. Relatório Anual 2015. Braskem, Brasil, 2016
- CNI, 2010. Oportunidades de eficiência para a indústria – Relatório setorial: Setor químico. Confederação Nacional das Indústrias, Brasília, 2010
- DEPEC, 2017. Química e Petroquímica. Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos. Bradesco, março/2017
- DIEESE, 2015. Panorama setorial do complexo industrial químico no Brasil. Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Econômicos. São Paulo, outubro/2015
- IBGE, 2014. Cadastro Central de Empresas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/cempre/quadros/brasil/2014>
- IBGE, 2015. Matriz insumo-produto: Brasil 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/matrizinsumo_produto/2010/default.shtm
- PROGENERICOS, 2017. Genéricos em números. Associação Brasileira das Indústrias de Medicamentos Genéricos. Disponível em: <http://progenericos.org.br/dados-do-setor>.
- MCGILVRAY, J., 1977, Linkages, key sectors and development strategy. In.: Leontief, W. (Ed.). Structure, system and economic policy. Cambridge: University Press.
- GUILHOTO, J. J. M., 1994, “Índices de ligações e setores-chave na economia brasileira: 1959/80”, Pesquisa e Planejamento Econômico, v. 24, pp. 287-314.
- WWF, 2017. Medidas Baseadas no Mercado no Transporte Marítimo das Exportações Brasileiras. WWF-Brasil, Brasília, abril de 2017.

3.3 CIMENTO, CAL E VIDRO

Para cimento, cal e vidro, diferentes fontes foram utilizadas para a realização do estudo, considerando estudos setoriais e de associações. No caso do cimento, o estudo fez uso das publicações do Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento (SNIC), do Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono (EBC) bem como da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Para o setor de Cal, até 2014 Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC) foi a principal fonte de informação. A entidade fundada em 1959 representava o interesse de 20 produtores de cal do Brasil, que respondiam em 2007 por 60% da produção de Cal (ABPC, 2008). A ABPC foi a principal fonte de informações do setor e foi desativada a partir de 2015 (MME, 2017).

O Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos do MME, realizado anualmente, utilizava dados fornecidos pela ABPC para elaboração dos capítulos referentes à cal. Assim, o anuário foi a principal fonte de informação utilizada neste trabalho, já que divulga as estatísticas do setor para cada ano até 2015. (MME, 2017)

Também, o MME através do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) divulga anualmente o Sumário mineral, que assim como o Anuário do setor de transformações tem dados sumarizados do setor de cal entre outros produtos de origem mineral. Informações sobre a produção mundial de Cal podem ser encontradas em relatórios similares internacionais, como o U.S. Geological Survey (USGS).

Quanto ao segmento vidro, no Brasil, a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO) reúne as indústrias de vidro no país que representa 95% da capacidade instalada do setor (AKERMAN, 2014). Até 2009 a Abividro divulgava anualmente dados estatísticos primários sobre o setor vidreiro do país. No entanto, após esse período esta informação não foi mais divulgada.

Assim, este estudo precisou consolidar os dados do setor vidro de acordo com estimativas para o setor e informações dispersas disponíveis, como no ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE TRANSFORMAÇÃO DE NÃO METÁLICOS, do MME, informações do mercado externo do MDIC/Alice, relatório setorial CNI, IBGE, entre outras informações disponíveis pela indústria vidreira, como informações disponíveis em sites de empresas atuantes no mercado. Muitos destes estudos, como o relatório setorial do MME, tomam como base os dados divulgados até o ano de 2009 pela ABIVIDRO e estimam a evolução do mesmo. Muitos estudos atuais do setor de vidros focam apenas no segmento de vidros planos, visto que a Associação brasileira de distribuidores e processadores de vidros planos (ABRAVIDRO, 2016) passou a divulgar, a partir de 2012 dados e estatísticas sobre o setor no documento anual Panorama Abravidro. Este é o único relatório setorial disponível do setor, com um retrato econômico produtivo do setor de vidros planos no Brasil, não constando nessa publicação dados sobre o setor como um todo.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os setores Cimento, Cal e Vidro estão enquadrados dentro da indústria de minerais não-metálicos, de acordo como o nível de desagregação de IBGE (2015)³⁴. Suas atividades apresentaram um VBP total no valor de R\$ 79 bilhões, representando 1,2% do VBP nacional em 2010. Além disso, representaram 4% do VBP da indústria de transformação em 2010, destacando-se *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* com 3,2%, conforme pode ser visualizado na Figura 67.

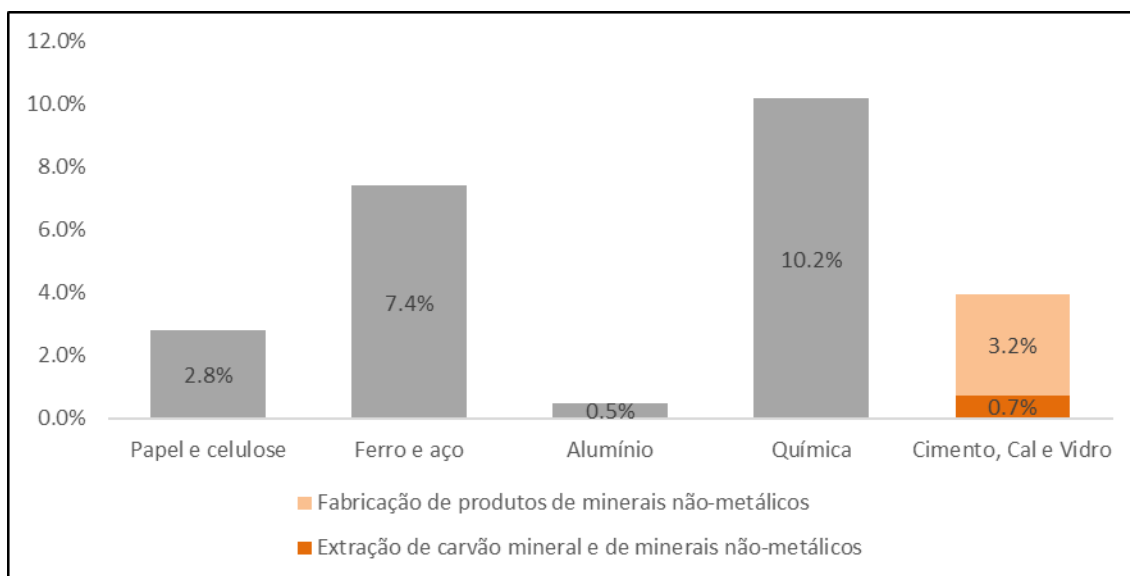


Figura 67: Participação do VBP do setor Cimento, Cal e Vidro na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Relacionando com os demais setores do estudo, isto é, *Papel e Celulose*, *Química*, *Ferro e aço* e *Alumínio*, é possível observar que o setor *Cimento, Cal e Vidro* representa 15% do somatório do VBP de todos os setores selecionados, conforme Figura 68. No que tange a geração de valor, o segmento *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (12%) só perde em importância para o segmento *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (17,1%), do setor *Ferro e aço*, e *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* (16,6%) do setor *Química*.

³⁴ Segundo a classificação de atividades da matriz-insumo produto os minerais não-metálicos encontram-se dentro das atividades: 0580 (Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos) e 2300 (Fabricação de produtos de minerais não-metálicos). Dentro dessas atividades estão contidos 17 produtos ao todo, que incluem não só produtos de cimento, vidro e cal, como também carvão mineral e produtos de minerais metálicos diversos, não especificados. O IBGE não fornece dados nesse nível de desagregação (IBGE, 2015).

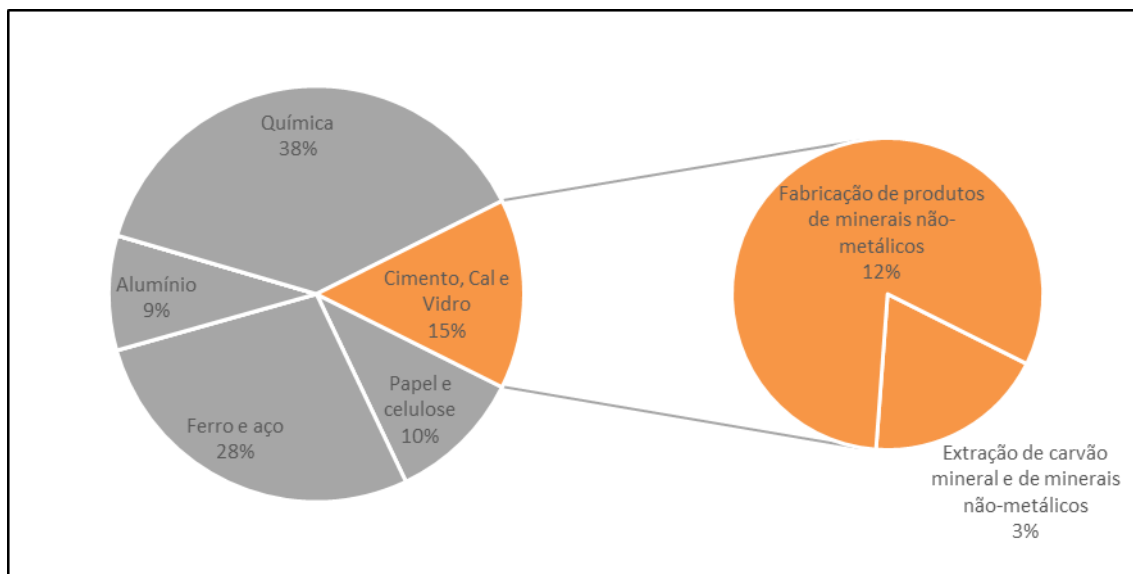


Figura 68: VBP do setor Cimento, Cal e Vidro x VBP dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Em termos de valor adicionado (VA), as atividades que contemplam os subsetores *Cimento, Cal e Vidro* alcançaram cerca de R\$ 29 bilhões em 2010, representando menos de 1% do PIB nacional (0,9%). Dentro do valor adicionado da indústria de transformação, corresponderam, em 2010, a 5,9% do total, onde também se destacam os setores *Ferro e aço* e *Química*, conforme Figura 69. O segmento *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* representa 4,5% do valor adicionado da indústria de transformação, ficando abaixo apenas do segmento *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (7,4%) dentre os setores selecionados do estudo em 2010.

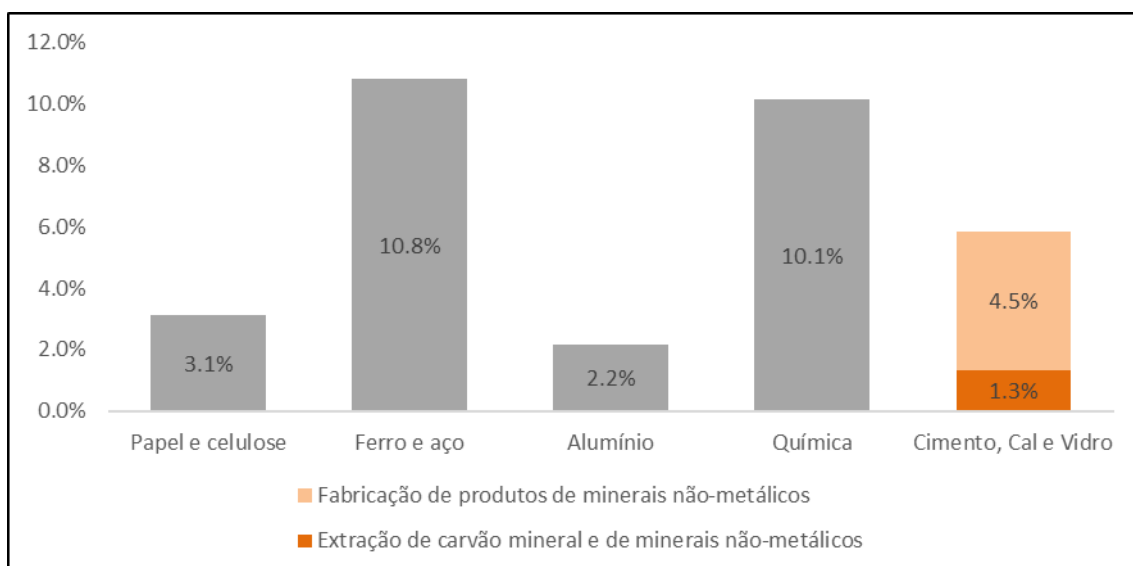


Figura 69: Participação do VA do setor Cimento, Cal e Vidro na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Ao se analisar os 18% de representação do setor *Cimento, Cal e Vidro* relacionado ao somatório do valor adicionado dos setores do estudo, conforme Figura 70, observa-se que este fica atrás apenas dos setores *Ferro e aço* (34%) e *Química* (31%). O segmento *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* representou 14,1% do valor adicionado dos setores em 2010, ficando abaixo apenas do segmento *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (23%) dentre os setores selecionados do estudo.

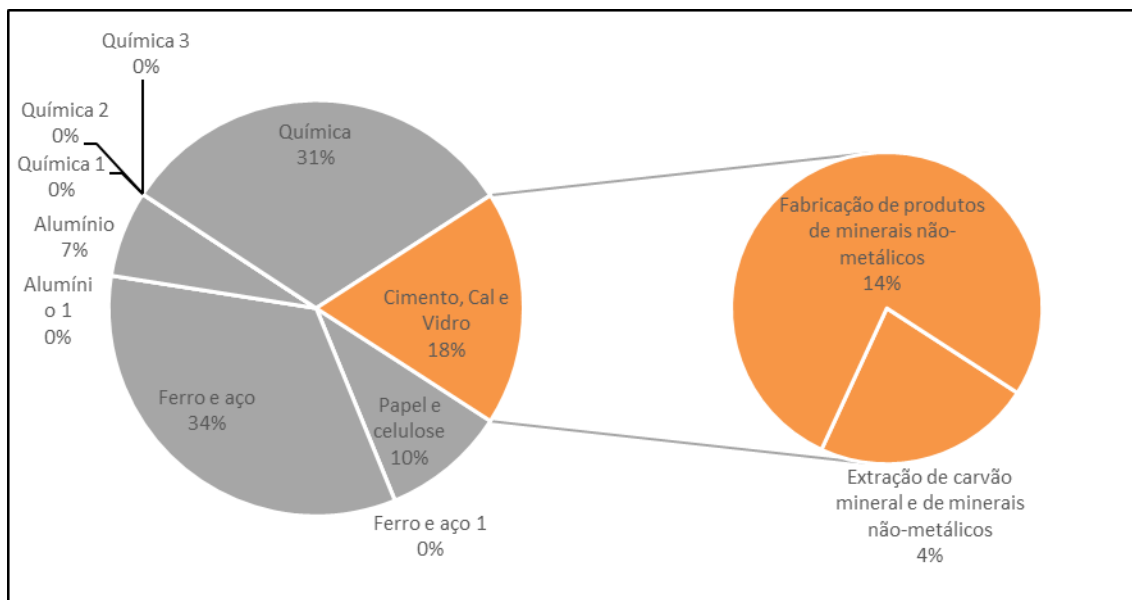


Figura 70: VA do setor Cimento, Cal e Vidro x VA dos setores do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Ademais, observa-se que a maior parte da produção das atividades dentro do subsetor *Cimento, Cal e Vidro* serve de matéria-prima para outros segmentos e setores (consumo intermediário), (Figura 71). Em 2010, a produção de *Cimento* destinou-se, praticamente em sua totalidade, ao consumo intermediário (99,9%). O restante (0,01%) foi destinado ao exterior.

Em relação a *Vidros, cerâmicos e outros produtos de minerais não-metálicos*, destinou-se cerca de 85% da sua produção ao consumo intermediário, 4% ao consumo das famílias, 7% ao exterior e 3% aos estoques. De acordo com MME (2012), além da siderurgia e da construção civil, que juntas consomem mais de 68% da produção de cal, outros subsetores e atividades também dependem da cal, a saber: saneamento básico; químico; papel e celulose; metalurgia de não ferrosos (indústria do alumínio); sucroenergético; produção de rações; fertilizantes, e outras áreas do agronegócio.

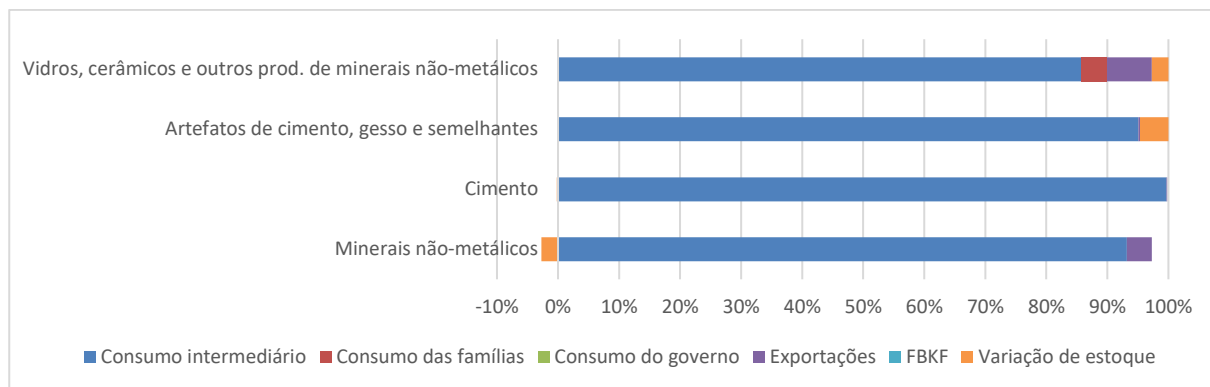


Figura 71: Distribuição das vendas do setor Cimento, Cal e Vidro, 2010

Fonte: IBGE (2015).

3.3.1.1 CIMENTO

O cimento é um material aglomerante em pó, capaz de agregar outros materiais, obtendo o concreto e argamassas que são utilizadas na construção civil. É perecível e requer condições específicas de armazenamento. Este fato, juntamente com o alto custo de transporte em relação ao baixo valor agregado do produto, traduz na reduzida expressividade do setor no comércio exterior (ABDI, 2012).

O crescimento da indústria de cimento está correlacionado ao crescimento da construção civil. Sua produção em 2012 foi de 68,8 milhões de toneladas e sua importação de 977 mil toneladas, apenas 1,4% do consumo aparente³⁵ (SNIC, 2012).

O Brasil é o 6º maior produtor³⁶ (ver Tabela 45) e o 4º maior consumidor de cimento do mundo, e a China ocupa o primeiro lugar em ambos os *rankings* (SNIC, 2012). No Brasil, há 85 fábricas de cimento e as unidades produtoras estão próximas aos centros consumidores, para reduzir o custo de frete (SNIC, 2012). A região Sudeste é a que mais produz cimento Portland³⁷ (49% do total), seguida da região Nordeste (20% do total), com produções em 2012, respectivamente, de 33,6 milhões e 13,8 milhões de toneladas (SNIC, 2012). Em relação ao consumo aparente em 2012, a região Sudeste representou 45% total, consumindo 31,4 milhões de toneladas de cimento e a Nordeste consumiu 14,6 milhões, 21% total (SNIC, 2012).

³⁵ Consumo aparente = Produção + Importação – Exportação.

³⁶ Apesar desta posição de destaque, ressalta-se que as condições mudaram significativamente com a crise internacional e o setor se encontra atualmente com limitações de investimentos.

³⁷ Denominação convencionada mundialmente para o material conhecido como cimento (ABPC, 2002)

Tabela 45: Maiores produtores de cimento (milhões de toneladas)

Países	2007	2008	2009	2010	2011
1. China	1379	1401,2	1657,1	1868	2080
2. Índia	172,9	186,1	190	215,5	240,5
3. Estados Unidos	95,5	86,5	64	64,9	67,9
4. Turquia	50,8	53,4	57,6	62	67,8
5. Irã	40	44,4	48,8	61,3	66,4
6. Brasil	47,2	52,3	52,1	59,2	64,1
7. Japão	71,4	67,6	59,6	54	56,4
8. Rússia	60,1	53,5	45,7	50,4	56,1
9. Vietnã	35,8	36,3	47,7	55	52
10. Arábia Saudita	30,4	37,4	37,8	41	48,4
11. Coreia do Sul	54,4	55,1	52,2	47,4	48,3
12. Egito	40,1	40,1	46,9	48,2	45,4
13. Indonésia	39,9	41,8	39,7	39,5	45,2
14. México	39,2	37,7	35,4	34,5	35,4
15. Alemanha	33,4	33,6	30,4	30,2	33,5
Total Mundial	2190,1	2227	2465	2731,1	3007,4

Fonte: Elaboração própria a partir de SNIC (2012).

3.3.1.2 CAL

Em 2015 a produção brasileira de cal foi estimada pelo MME, 2017 em 8,0 milhões de toneladas, uma retração em relação à produção apresentada em 2014, que foi de 8,2 milhões de toneladas (Figura 72). De forma geral, é possível observar um crescimento de 1,8% a.a. na produção de cal desde 2001, sendo observada uma queda expressiva de 9,0% no ano de 2009, tendo tido o ano de 2008 um decréscimo de 1,4% em relação a 2007 (MME, 2017). Segundo JMendo (2009) esta queda de produção pode ser explicada pela crise mundial de 2008, que comprometeu o crescimento da siderurgia, uma das grandes consumidoras de cal.

A partir de 2014 é possível notar uma pequena retração na produção brasileira de Cal; estima-se que a queda se reproduziu no ano de 2015 (MME, 2017). Esse fator pode ser atribuído ao decréscimo da atividade econômica do país (DNPM, 2015).

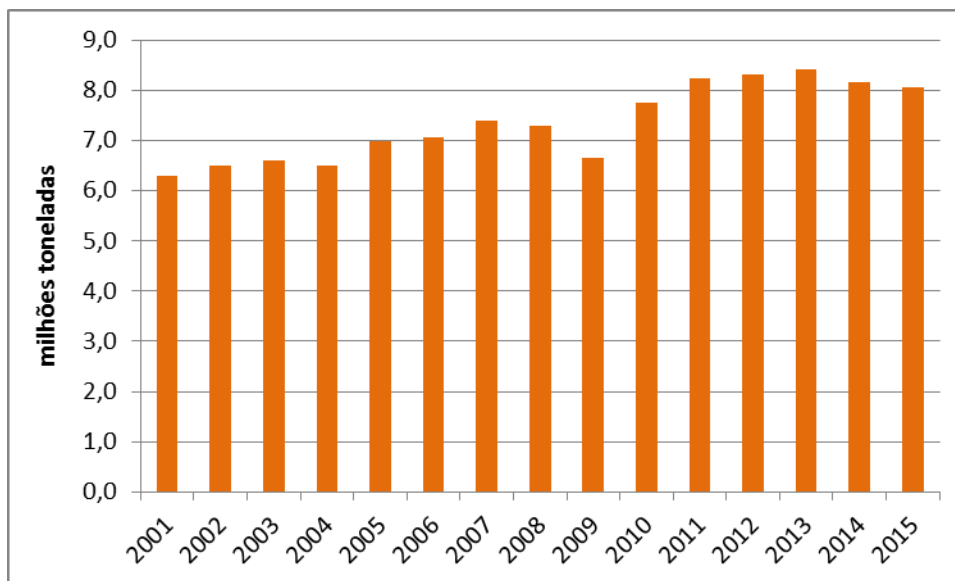


Figura 72: Evolução da produção brasileira de Cal

Fonte: Elaboração própria a partir de MME (2017).

Dados estimados até 2013 mostram que a indústria de cal no Brasil teve um faturamento de R\$ 2,6 bilhões de reais naquele ano. Esse faturamento foi de R\$ 2,0 bilhões em 2009, quando a produção foi de 6,7 Mt (MME, 2017).

A produção de cal está dividida em cal virgem ou cal hidratada, as mais importantes do ponto de vista comercial. A cal virgem, também chamada de cal viva, é o principal produto de calcinação de rochas calcárias e dolomíticas. Já a cal hidratada é formada pela adição de água à cal virgem formando principalmente, o hidróxido de cálcio. Em 2014 a cal virgem representou 76% do mercado de cal no Brasil, sendo assim o principal produto da cal comercializado (DNPM, 2015).

Os produtores de cal podem ser classificados, segundo ABPC, em quatro categorias: produtor integrado, produtor não integrado, produtor transformador e produtor cativo. Os produtores integrados são aqueles que produzem cal (virgem e/ou hidratada) a partir da rocha calcária extraída de mina própria, já os não integrados adquirem a matéria-prima, rocha calcária, de minas de terceiros. O produtor transformador realiza a moagem e/ou produz cal hidratada a partir de cal virgem adquirida de terceiros. Os chamados produtores cativos produzem a cal para consumo próprio, como é o caso das siderúrgicas (CNI, 2010 e DNPM, 2015). Em 2014, 79% da produção foi obtida pelos produtores integrados; 15% pelo mercado cativo, 3% pelos produtores não integrados e 3% pelos transformadores (MME, 2017).

Grande parte da produção de cal no Brasil está concentrada nas regiões Sul e Sudeste do país. Em 2013, estas regiões responderam por 84% da produção e em 2015 85%. O Estado com maior contribuição é Minas Gerais, onde se encontram os principais produtores de Cal com uma produção anual acima de 5 Mt (MME, 2014). Na região Sul o estado do Paraná é o que mais contribui com a

produção. Segundo a Mineropar (Serviço Geológico do Paraná), o Arranjo Produtivo de cal do Paraná, registra uma capacidade instalada de 2 Mt/ano de Cal (MME, 2014).

Dada a pouca expressão das exportações e importações de cal, o consumo aparente acompanhou o nível de produção que é quase integralmente absorvida pelo mercado interno. A produção de cal no Brasil é regulada e monitorada por programas como o Programa Setorial da Qualidade da Cal Hidratada para a Construção Civil. Este programa é registrado junto ao Governo Federal, em que o INMETRO realiza a auditoria dos produtos das empresas associadas e de outras marcas adquiridas em vendas, abrangendo 87% de toda a produção nacional e o Programa de Monitoramento da Cal Industrial, voltado especificamente ao controle dos produtos destinados à indústria de rações animais (DNPM, 2017).

A ABPC foi idealizadora e organizadora destas iniciativas. Também, para atender compromissos de sustentabilidade, a ABPC em parceria com o instituto Totum, lançou em 2009 o selo ABPC de Responsabilidade Socioambiental, que visa qualificar empresas associadas à entidade com base em suas práticas de produção e gestão, atendendo principalmente aos consumidores industriais de cal, que exigem altos padrões de qualidade e de responsabilidade socioambiental em todas as etapas da produção (MME, 2017).

3.3.1.3 VIDRO

A indústria de vidros abrange diversos tipos de produtos e tecnologias, incluindo desde produtos de uso cotidiano, como copos e embalagens até vidros especiais feitos sobre medida para outras indústrias. De acordo com CNI (2010), a produção vidreira pode ser dividida em quatro subsetores de acordo com o produto final fabricado: vidros planos, embalagem, doméstico e “vidros especiais/técnicos”³⁸.

As matérias-primas para a fabricação de vidro são de simples obtenção, dentre estas tipicamente se destacam as seguintes, com a típica composição em peso: areia (SiO_2 , 70-74%), barrilha (Na_2O , 12-16%), calcário (CaO , 5-11%), dolomita (MgO , 1-3%), feldspato (AlO_2O_3 , 1-3%) e aditivos como sulfato de sódio, ferro, cobalto, cromo, selênio etc (CNI, 2010). A barrilha corresponde a um grande custo de obtenção, cerca de 60%, apesar de representar apenas 12-16% da composição (CNQ, 2015).

³⁸ Segundo essa classificação, os tipos de vidro incluem: (i) Vidros planos, que podem ser laminados, temperados, de controle solar e espelho. São utilizados na indústria de construção civil, automobilística, moveleira e decoração, (ii) Vidros para embalagens, que são utilizados nas indústrias de bebidas, alimentícias, farmacêuticas e cosméticas na forma de potes, garrafas, e outros vasilhames diversos de vidro, (iii) Vidros domésticos, que são aqueles utilizados em utensílios domésticos para diversos fins e, (iv) Vidros especiais/técnicos, que são aqueles utilizados em diversos segmentos industriais, sendo feitos de forma especial de acordo com as especificidades técnicas de uso (ETENE, 2016).

Uma particularidade dessa indústria é a possibilidade de uso de matéria-prima proveniente de cacos de vidro (*cullets*) reciclados e triturados. Dentre os materiais de uso frequente em embalagens, o vidro é provavelmente o que apresenta maior facilidade para a reciclagem. Em termos teóricos o vidro é 100% reciclável, e a mesma “unidade” de vidro pode ser aproveitada inúmeras vezes (CNQ, 2015).

A reciclagem apresenta diversas vantagens para o processo, como a redução do consumo de energia, que pode chegar a 35% para a utilização de 10% de caco (CNI, 2016). Em 2011, a reciclagem da embalagem de vidro no Brasil estimada era de 47% (CEMPRE, 2016). Em 1992 a taxa de reciclagem era de 15%, houve uma grande evolução nesses últimos 20 anos, porém ainda há grande potencial de reciclagem quando comparados a outros países, que atingem até 96% de embalagens de vidro reciclado (MME, 2016). A barreira para o aumento da taxa de reciclagem está na captação de caco de vidro pós-consumo, que requer a implementação de sistemas integrados de coleta seletiva e logística reversa a fim de torná-la adequada ao uso. Ainda há a necessidade de políticas públicas de incentivo à sua maior utilização, já que sua captação no pós-consumo é difícil e onerosa.” (CNI, 2016).

Em 2011, a produção brasileira de vidros alcançou um total de 3 milhões de toneladas com um faturamento registrado de R\$ 5,468 bilhões (MME, 2013). A maior parte dessa atividade está concentrada no setor de vidros planos e embalagens, que responderam respectivamente por 51% e 36% do total produzido (Figura 73). Entre 2007 e 2011³⁹ a produção cresceu 27%, tendo o setor de vidros plano liderado esse crescimento, com um aumento de 53% no período (MME, 2012).

³⁹ Diante da indisponibilidade de estatísticas divulgadas após o ano de 2009, os dados de 2010 e 2011 foram estimados a partir dos desempenhos das indústrias automotivas e de construção civil, que à época eram os principais setores de consumo de vidros, especialmente vidros planos.

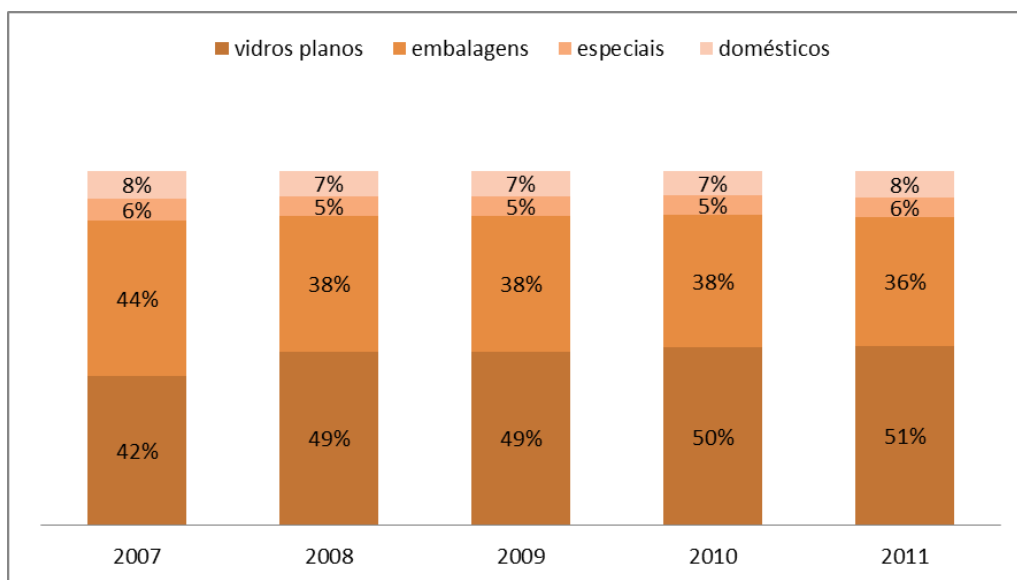


Figura 73: Produção de vidros no Brasil de acordo com seu tipo

Fonte: Elaboração própria a partir de MME (2012).

A partir da Pesquisa Industrial Mensal realizada pelo IBGE, é possível observar o comportamento do setor de vidros desde 2003 até o ano de 2016. Segundo metodologia⁴⁰ adotada pelo Instituto, a produção recuou desde 2013, com comportamento mais acentuado no setor de vidros planos e de segurança (Figura 74).

⁴⁰ A fórmula de cálculo adotada é uma adaptação de Laspeyres - base fixa em cadeia, com atualização de pesos. Foi utilizado dados do índice acumulado no ano, que compara a produção acumulada de janeiro até o mês de referência do índice, em relação a igual período do ano anterior (IBGE, 2016).

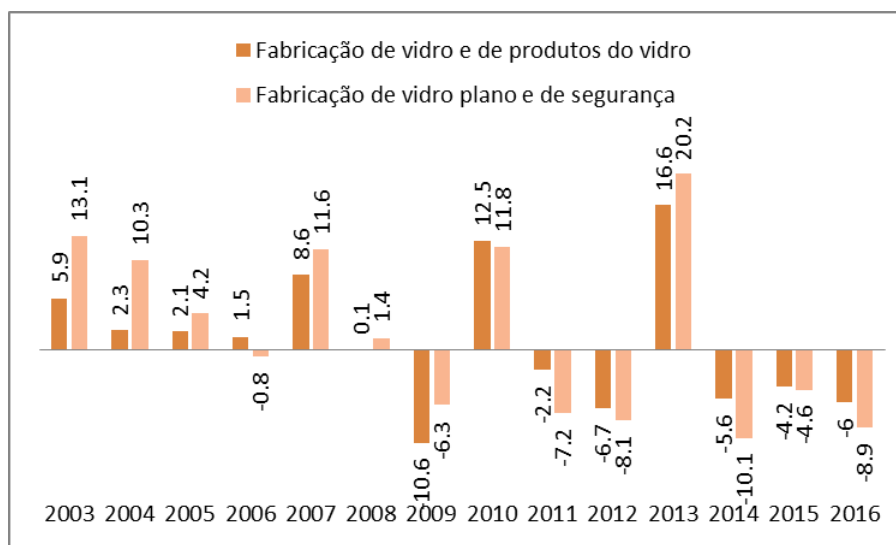


Figura 74: Evolução do Índice de Fabricação de vidros no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2017).

De acordo com a Figura 75, é possível perceber que o segmento de embalagens de vidro apresentou variações significativas de sua produção ao longo dos últimos 5 anos, apresentando anos de alta de mais de 10%, intercalados com anos de retração, como em 2015, que apresentou um valor negativo de 3,3%.

Apesar de a produção de embalagens de vidro corresponder 8,0% da produção física (total produzido em toneladas) total de embalagens em 2016, ela representa somente 4,84% do VBP (valor monetário associado a esta produção) de R\$ 57,2 bilhões do setor de embalagens no Brasil no mesmo ano. Sendo assim, a embalagem de vidro não agrega tanto valor ao segmento de embalagens, possuindo menor valor por tonelada que outros tipos de embalagens⁴¹ (ABRE, FGV, 2016).

⁴¹ Tipos de embalagens existentes no segmento: Plástico, vidro, metal e papel, papelão e cartão.

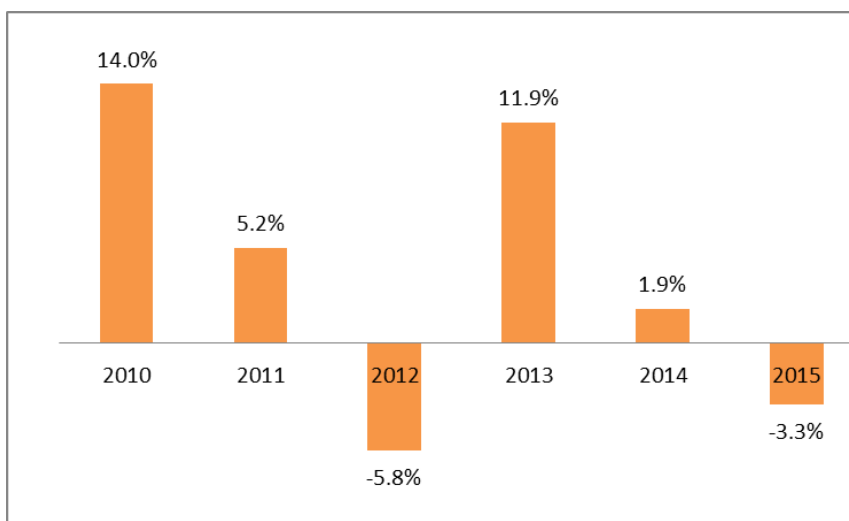


Figura 75: Variação (%) da produção de embalagens de vidro em relação ao ano anterior

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de ABRE, FGV (2016).

Quanto ao setor de vidros planos, é possível obter estatísticas mais detalhadas de seu comportamento através dos relatórios divulgados pela Abravidro a partir de 2012. Segundo ABRAVIDRO (2016), a produção de vidros planos começou a apresentar sinais de estagnação em 2014, depois de ter apresentado um crescimento médio anual acima de 10% desde 2007.

A capacidade produtiva de vidros planos em 2015 era de 7.220 t/dia, um aumento de capacidade de 114% em relação a dados de 2006. O maior incremento aconteceu entre os anos de 2011 e 2012, quando a Cebrace expandiu sua capacidade produtiva em 900 t/dia. (ABRAVIDRO, 2016).

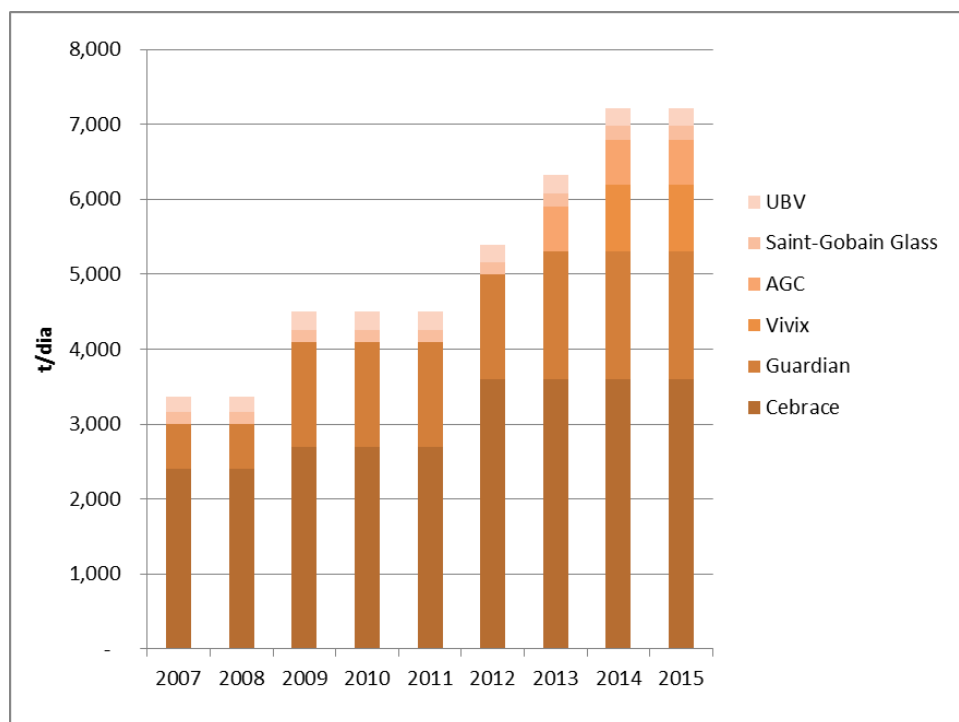


Figura 76: Capacidade produtiva de vidros planos no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de ABRAVIDRO (2016).

O consumo aparente de vidros planos no Brasil que vinha crescendo desde 2007, apresentou uma queda de quase 10% em 2015, retornando a patamares de 2012. Apesar do resultado do último período avaliado, o segmento vinha apresentando um período de aumento no consumo com aumento médio de 11% a.a. entre 2009 e 2014. Esse decréscimo pode ser observado em todas as subáreas de consumo de vidro plano (ABRAVIDRO, 2016).

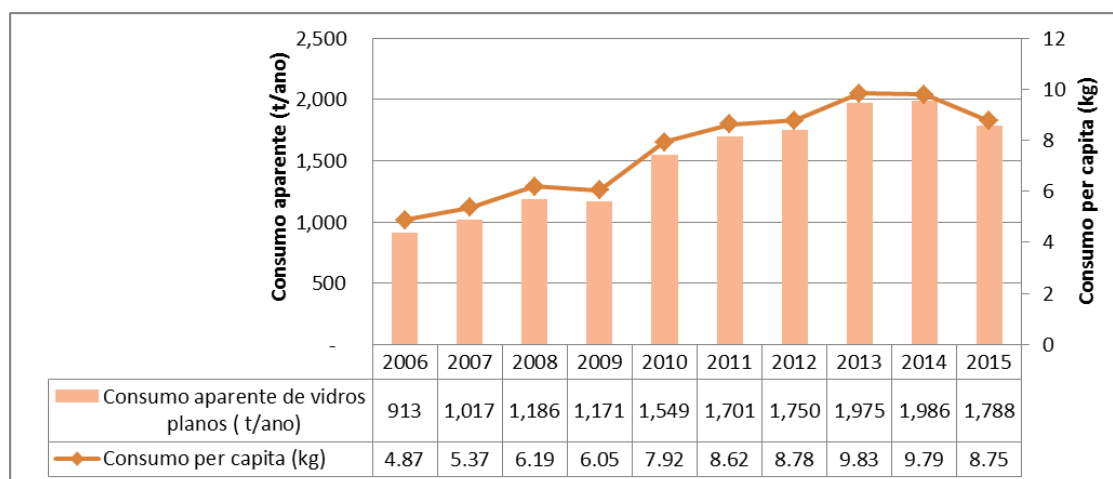


Figura 77: Consumo aparente e consumo per capita de vidros planos no Brasil de 2006-2015

Fonte: ABRAVIDRO (2016).

O setor de vidros planos pode ser dividido em vidros planos *float* e vidros planos impressos, sendo a diferença entre eles dada pelo processo produtivo empregado e a qualidade do produto. Vidros planos impressos são menos aceitos já que não apresentam as qualidades do vidro *float*, exigidas pelos principais mercados. O vidro *float* é o mais utilizado pela sua qualidade, sendo presentes nas indústrias automotivas e de construção (MONTANA e BASTOS, 2013).

3.3.2 GRAU DE CONCENTRAÇÃO

De acordo com dados de IBGE (2014), em termos de pessoal ocupado, o setor *Cimento, Cal e Vidro* representa 2%, com cerca de 182 mil pessoas⁴², do setor da indústria de transformação. Conforme a Figura 78, o setor representa 15% dos setores industriais selecionados do estudo, de modo que se destaca o segmento *Extração de pedra, areia e argila* com 46% do total de pessoas ocupadas. O segmento *Cimento* representa 17% do setor *Cimento, Cal e Vidro*, conforme Figura 78, e cerca de 3% dos setores industriais selecionados do estudo, totalizando cerca de 31 mil pessoas. O segmento *Vidro e outros produtos do vidro* representa 27% do setor *Cimento, Cal e Vidro* e 4% dos setores industriais selecionados do estudo, totalizando cerca de 48 mil pessoas. Não há disponibilidade de dados para pessoal ocupado no segmento *Cal*.

⁴² Considerou-se o pessoal ocupado para Extração de minerais não-metálicos, Fabricação de vidro e de produtos do vidro e Fabricação de cimento; excluindo-se o pessoal ocupado para Fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes.

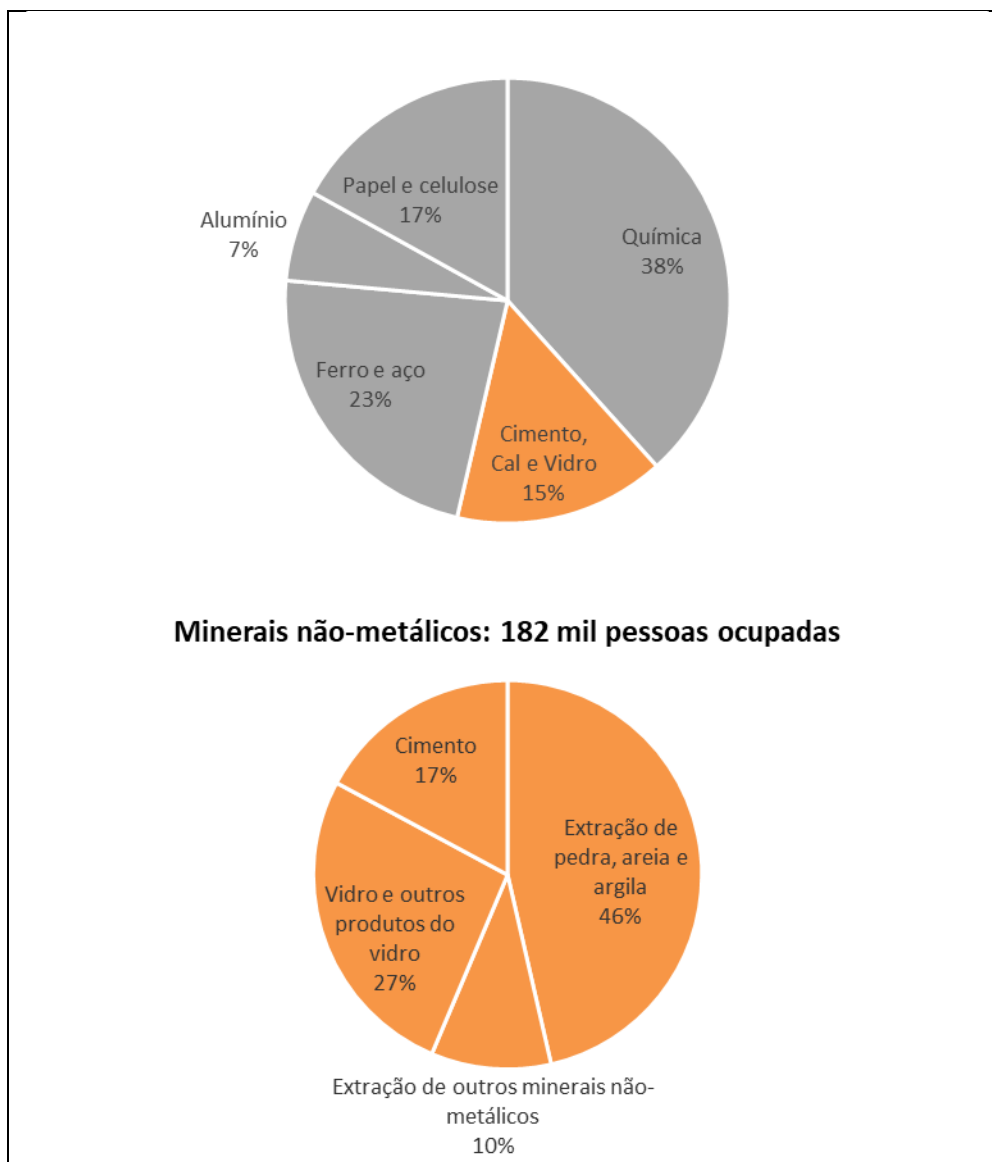


Figura 78: Coeficiente de Pessoal Ocupado para Cimento, Cal e Vidro, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

O índice de Razão de Concentração (CR) é utilizado para determinar a participação de grandes empresas no mercado. Seu resultado deve variar entre 0 (zero) e 100 (cem), onde “0” representa uma situação de concorrência perfeita e “100” indica uma condição de concentração intensa. De acordo com os dados de IBGE (2014), os quais estimam os índices de concentração econômica a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas⁴³, os índices CR do setor *Cimento, Cal e Vidro* são inferiores às médias dos setores industriais selecionados do estudo. Contudo, a partir de uma análise mais

⁴³ Vale ressaltar que em termos de capacidade instalada o índice CR tende a ser superior ao estimado via pessoal ocupado, tendo em vista a convivência de grandes e microempresas.

detalhada das empresas dentro de cada segmento/produto do setor é possível observar maiores graus de concentração, conforme Figura 79. O segmento *Cimento*, que apresentou um total de 53 empresas em 2014, é o mais concentrado do setor *Cimento, Cal e Vidro* e um dos mais concentrados dentre os setores selecionados do estudo, com índices CR que chegaram a 78,2 (CR12). Para o segmento *Vidro e outros produtos do vidro*, que apresentou um total de 1.120 empresas em 2014, os índices CR chegaram a 30,6 (CR12). Contudo, de acordo com CNQ (2015), a indústria brasileira de vidros, assim como a mundial, é caracterizada por um grande grau de concentração de mercado, em termos de produção, onde grandes grupos internacionais que atuam de forma direta ou indireta através de associações comerciais dominam o mercado. Devido ao nível de desagregação dos dados de IBGE (2014), não é possível realizar uma análise mais detalhada das empresas dentro do segmento Cal.

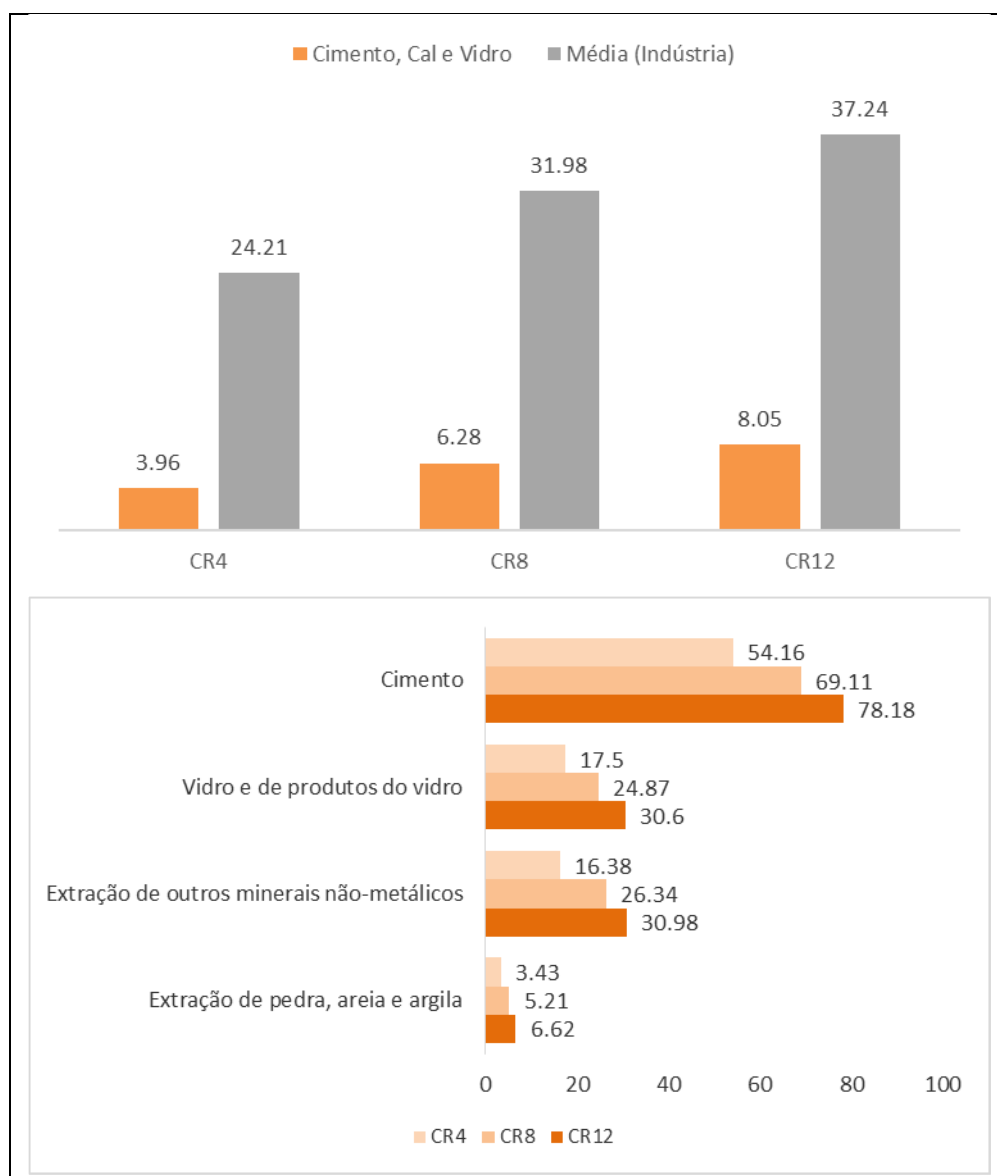


Figura 79: Índices de Razão de Concentração* para Cimento, Cal e Vidro, 2014

Fonte: IBGE (2014).

* índices de concentração econômica estimados a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas. A média da indústria inclui apenas os setores selecionados neste estudo.

Ainda a partir dos dados de IBGE (2014), foi possível construir gráficos que relacionam o número de empresas com a quantidade de pessoal ocupado para cada segmento dos setores industriais selecionados do estudo. No setor *Cimento, Cal e Vidro* é possível observar a predominância de pessoal ocupado na *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2) em relação a *Extração de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 1). Conforme a Figura 80, é possível observar que não há empresas com mais de 250 pessoas para *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2) e muito menos para *Extração de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 1), as quais atingem no máximo 30 empregados.

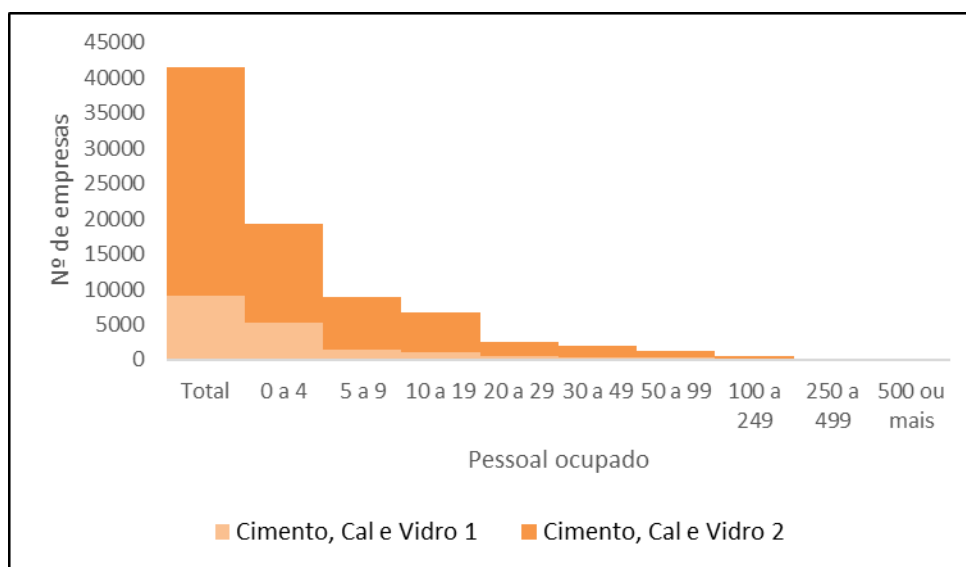


Figura 80: Número de empresas x Pessoal ocupado para Cimento, Cal e Vidro, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

3.3.2.1 CIMENTO

De acordo com dados específicos do setor oriundos de SNIC (2012), o parque industrial cimenteiro é constituído por 85 fábricas e as unidades produtoras estão próximas das jazidas da matéria-prima principal, o calcário, pois seria muito mais oneroso transportar este do que o cimento acabado. Sua produção em 2012 foi de 68,8 milhões de toneladas e sua importação de 977 mil toneladas, apenas 1,4% do consumo aparente (SNIC, 2012).

Os três maiores grupos industriais do setor concentraram cerca de 65% da produção total de cimento no ano de 2013, conforme detalhado na Tabela 46.

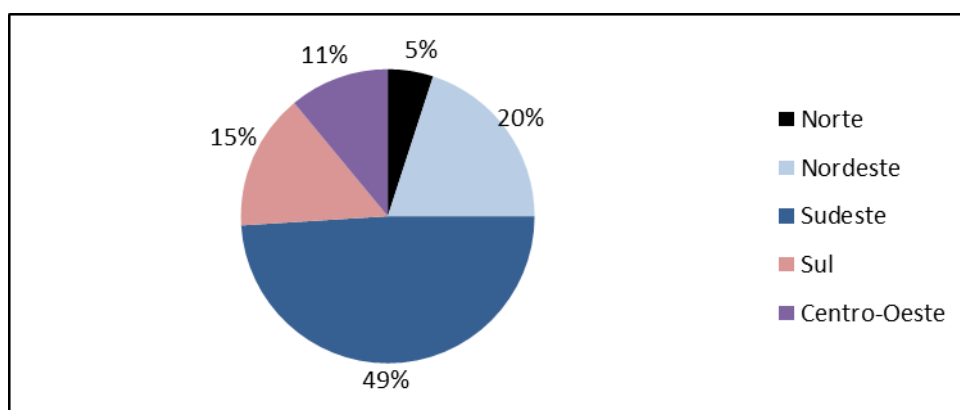
Tabela 46: Produção por Grupo Industrial (mil toneladas)

Grupo Industrial	2012	2013
Votorantim	24360	25163
Inter cement	12636	12974
João Santos	7161	7105
Lafarge	6061	5908
Ciplan	2414	2724
Itambé	1678	1790
Outros	14449	14497
Total Brasil	69809	70161

Fonte: SNIC (2012).

O grau de concentração da indústria de cimento pode ser explicado pela existência de barreiras estruturais de entrada, como: propensão dos processos de fabricação a economias de escala, acesso a jazidas de calcário com condições adequadas do ponto de vista de composição e de localização e forte intensidade em capital fixo (EBC, 2012).

No que diz respeito à distribuição espacial da produção de cimento, as plantas estão presentes em todas as regiões brasileiras e são, em quase sua totalidade, equipadas com fornos de via seca. A região Sudeste é a que mais produz cimento Portland, seguida da região Nordeste, com produções em 2012, respectivamente, de 33,6 milhões e 13,8 milhões de toneladas (SNIC, 2012). A Figura 81 apresenta a participação regional na produção de cimento no Brasil.

**Figura 81: Participação regional brasileira na produção de cimento**

Fonte: Elaboração a partir de SNIC (2012).

Apesar da região Sudeste ter respondido por cerca de metade da produção brasileira de cimento, este resultado já reflete uma melhor da distribuição regional da produção de cimento que o observado nas décadas anteriores. Entre 1995 e 2010, a participação das regiões Sudeste e Sul na produção total de cimento se reduziu de 74% para 65%, enquanto a participação das regiões Norte, Nordeste e Centro-

Oeste aumentou de 26% para 35% (EBC, 2012). Segundo SNIC (2012), Minas Gerais, São Paulo e Paraná foram os três maiores produtores de cimento brasileiros com produções em 2012 de, respectivamente, 16.465×10^6 kg, 9.428×10^6 kg e 5.589×10^6 kg, que representam metade do cimento fabricado no Brasil. A produção de cimento anual por estado brasileiro, pode ser vista na Tabela 47.

Tabela 47: Produção anual de cimento Portland por estados e regiões brasileiras (em 10^6 kg)

Estados/Regiões	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Rondônia	-	-	-	-	-	-	111	576	969	713
Amazonas	603	628	627	634	683	776	654	725	813	785
Pará	561	621	720	821	935	1315	1204	1502	1553	1636
Tocantins	-	-	-	-	-	-	131	470	523	564
Região Norte	1164	1249	1347	1455	1618	2091	1969	3273	3585	3698
Maranhão	254	302	308	316	336	358	358	384	425	883
Piauí	304	284	413	344	411	501	588	627	609	655
Ceará	1230	1324	1443	1480	1628	1714	1767	1863	1985	2136
Rio Grande do Norte	330	334	365	378	438	450	461	463	658	1293
Paraíba	1364	1477	1609	1811	1919	2073	1844	2162	2025	2462
Pernambuco	397	409	512	547	677	781	821	848	1079	1257
Alagoas	358	375	437	458	532	556	409	674	706	703
Sergipe	1771	1975	2068	2366	2763	2841	2691	33031	3181	3080
Bahia	479	469	555	599	695	814	1021	1179	1270	1346
Região Nordeste	6487	6949	7710	8299	9399	10088	9960	11231	11938	13815
Mato Grosso do Sul	618	653	653	670	746	878	872	890	973	1031
Mato Grosso	624	602	637	642	819	875	949	997	1177	1123
Goiás	647	716	789	766	832	1052	1149	1324	1392	1599
Distrito Federal	1646	2091	2322	2492	2824	2660	2690	3159	3540	3882
Região Centro-Oeste	3535	4062	4401	4570	5221	5465	5660	6370	7082	7635
Minas Gerais	8253	8186	9454	10188	11368	12654	12979	14162	15240	16465
Espírito Santo	1833	1753	1664	1711	1921	2344	2099	2370	2546	2616
Rio de Janeiro	2402	2382	2358	2678	2794	3129	3160	4174	4974	5087
São Paulo	5386	5327	5837	7194	7454	8180	7913	9035	9564	9428
Região Sudeste	17847	17648	19313	21711	23537	26307	26151	29741	32324	33596
Paraná	3944	4059	4018	3923	4548	5313	5332	5685	5746	5589
Santa Catarina	263	229	209	222	282	406	364	455	988	1979

Estados/Regiões	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Rio Grande do Sul	1683	1575	1473	1511	1661	2034	1940	2122	2190	2225
Ajustes	92	126	138	111	170	180	240	240	240	272
Região Sul	5982	5989	5838	5767	6661	7933	7876	8502	9164	1065

Fonte: SNIC (2012).

Em termos de tipo de cimento produzido, a região Sudeste tem maior acesso a escórias de alto-forno, que são utilizadas como aditivo ao cimento, produzindo cimentos Portland do tipo CP II-E e CP III. Do mesmo modo, na região Sul há um número restrito de termelétricas movidas a carvão mineral, o que limita o acesso às cinzas para a produção dos cimentos Portland tipo CP II-Z e CP IV. Já as regiões Centro-Oeste e Nordeste são mais próximas as fontes de combustíveis alternativos como carvão vegetal e casca de babaçu e coco, o que leva a um perfil de consumo de combustíveis com maior participação de biomassa (MCTI, 2010). Os tipos de cimento Portland podem ser vistos na Tabela 48.

Tabela 48: Especificações e tipos de cimento Portland no Brasil

Tipo		Clínquer (%)	Escórias de Alto-forno (%)	Material Pozolânico (%)	Material Carbonático (%)
CP I	CP I	100	-	0	-
	CP I-S	95 a 99	-	1 a 5	-
	CP II- E	56 a 94	6 a 34	-	0 a 10
CP II	CP II- Z	76 a 94	-	6 a 14	0 a 10
	CP II- F	90 a 94	-	-	6 a 10
CP III	CP III	25 a 65	35 a 70	-	0 a 5
CP IV	CP IV	45 a 85	-	15 a 50	0 a 5
CP V	CP V	95 a 100	-	-	0 a 5

Fonte: Elaboração própria a partir de SNIC (2007).

Os tipos de cimentos são desdobrados adicionalmente em função da resistência mecânica⁴⁴, da resistência a sulfatos e do calor de hidratação. Um cimento CP III-40 RS é um cimento de alto-forno com resistência à compressão de 40 MPa e capacidade de resistência a sulfatos (EBC, 2012). Ainda, além dos cimentos cinzas, existem os cimentos brancos, que utilizam caulim no lugar da argila. Sua importância é menor do que as cinzas e podem não servir para usos estruturais (EBC, 2012). No Brasil, desde 2009 não há produção de cimento branco (SNIC, 2012). A produção anual, por tipo de cimento, pode ser vista na Tabela 49.

⁴⁴ Trata-se da resistência à compressão, medida normalmente após um período de 28 dias de cura.

Tabela 49: Produção anual de cimento Portland, segundo os tipos (10⁶ kg)

Ano	Tipos de Cimento					Subtotal	Ajustes ⁽¹⁾	Total
	CP I	CP II	CP III	CP IV	Branco			
2007	1034	29848	7842	3876	115	45969	582	46551
2008	346	33080	8879	5714	86	51682	288	51970
2009	84	34662	7967	5097	-	51187	560	51747
2010	88	38474	8345	6686	-	57804	1313	59117
2011	103	38659	9347	8247	-	61329	2764	64093
2012	98	39743	10000	9612	-	65033	3776	68809

Fonte: Elaboração própria a partir de SNIC (2012).

⁽¹⁾ Dados estimados.

Alguns usos exigem cimentos com especificações bem precisas. Por exemplo, em galerias de esgoto e obras marítimas, requer-se resistência a sulfatos (sigla RS), grandes obras demandam cimentos de baixo calor de hidratação, para manter controle da dilatação (sigla BC). Além disso, há eventuais situações em que o tempo de cura deve ser menor do que o usual, para isto, usa-se cimentos de alta resistência inicial (CP V-ARI) (EBC, 2012).

3.3.2.2 CAL

A Associação Brasileira dos Produtores de Cal - ABPC estima que, no Brasil mais de 200 empresas e fábricas constituem o segmento de produção de Cal, com em torno de 180 pequenas empresas e mais de 20 grandes empresas associadas (ex-associadas) à ABPC (CNI, 2010). A capacidade de produção de suas instalações varia de 1 a 1000 toneladas de cal virgem/dia, e a capacidade instalada é de nove milhões de toneladas/ano. (JMendo, 2009).

As empresas associadas à ABPC responderam por 60% da produção de cal em 2008 (ABPC, 2008). As principais empresas produtoras de cal no país são as mineradoras de calcário, destacando-se entre elas: Mineração Belocal Ltda (grupo Lhoist do Brasil), Indústria de Calcinação Ltda-ICAL, Votorantim Cimentos SA, Mineração Lapa Vermelha Ltda, UNICAL Brasil e Cal Norte Nordeste – CNN (DNPM, 2017 e ABPC, 2008).

Os grandes e pequenos produtores de cal possuem comportamentos distintos dentro do mercado nacional. Para JMendo (2009) as grandes empresas de cal no Brasil têm capacidade de absorver demanda e acompanhar o desenvolvimento da indústria brasileira, especialmente siderúrgica e construção civil: “Elas são capitalizadas, pertencem a grandes grupos nacionais ou multinacionais, com acesso a novas tecnologias, tem logística bem estruturada, com boa articulação com o mercado, boa política de qualidade e produtividade e muitas são até certificadas com o ISO 9.000 e 14.000”.

Por outro lado, para que as pequenas empresas acompanhem um alto ritmo de crescimento é necessário que medidas do governo as apoiem para atingir um patamar mais seguro e eficiente. Em geral, as pequenas empresas utilizam processos produtivos de baixo desenvolvimento tecnológico desde a extração do calcário até a calcinação, que é feita de forma rudimentar em caieiras simples, usando lenha como combustível (JMendo, 2009).

3.3.2.3 VIDRO

Das cerca de 40 mil empresas do setor Cimento, Cal e Vidro, a indústria brasileira de vidros possui 23 empresas produtoras de vidro, com capacidade total de 11.940 t/dia. Cinquenta e oito por cento dessa capacidade é destinada à produção de vidros planos, sendo o restante distribuído nos demais segmentos. A produção de vidros no Brasil está concentrada na Região Sudeste, que abriga mais de 75% da capacidade instalada, sendo a maioria localizada no Estado de São Paulo, alocando 66% deste total. No Nordeste, Ceará e Pernambuco possuem 14% do total instalado, enquanto o restante da capacidade se encontra na região Sul (AKERMAN, 2014).

Tabela 50: Capacidade de produção de vidros no Brasil segundo localização e tipo de vidro

Estado	Segmento	Capacidade (t/dia)
Ceará	Outros	90
Pernambuco	Outros	710
	Plano	900
Rio de Janeiro	Outros	850
	Plano	600
São Paulo	Outros	3040
	Plano	4850
Santa Catarina	Plano	600
Rio Grande do Sul	Outros	300

Fonte: Elaboração própria de acordo com AKERMAN (2014).

Das 23 empresas presentes na indústria brasileira, 13 são grupos empresariais internacionais. Em termos de capacidade produtiva instalada, apenas 21% são de grupos de origem brasileira, e 60% pertencem a dois grandes grupos multinacionais. O grupo Saint-Gobain⁴⁵ está presente em 41% da capacidade total produtiva, enquanto a americana Owen-Illinois tem 19% (AKERMAN, 2014). O que exemplifica a concentração deste setor.

Em termos mundiais, segundo divulgado pelo grupo NSG (2017), em 2010 cerca de 60% da produção mundial de vidros planos de alta qualidade eram provenientes de empresas multinacionais

⁴⁵ A Cebrace, maior empresa de produção de vidros planos no Brasil é uma joint-venture entre a francesa Saint-Gobain e a japonesa NSG.

pertencentes aos grupos AGC, NSG, Saint-Gobain e Guardian, enquanto o restante está dividido entre pequenas e médias empresas regionais (CNQ, 2015). Considerando os vidros produzidos para a indústria automobilística, para a fabricação de veículos novos, os três primeiros grupos, juntos com seus parceiros e associados, foram responsáveis por 70% da oferta mundial (NSG, 2017). Essas empresas atuam com uma estratégia global, instalando plantas de produção diretamente nas regiões de interesse ou estabelecendo parcerias com grupos locais, de forma a abastecer esses mercados (CNQ, 2015).

No Brasil, até 2013, só havia dois fabricantes de vidro *float*: Cebrace e Guardian. A partir de 2014, duas novas empresas se instalaram no país: a japonesa AGC e uma totalmente nacional, pertencente ao Grupo Cornelio Brennand, denominada Vivix. Considerando a indústria de vidros planos impressos, atuam também no Brasil, a *Saint-Gobain Glass* e UBV (União brasileira de vidros) (ABRAVIDRO, 2016).

A Cebrace, *joint-venture* entre a francesa *Saint-Gobain* e a japonesa NSG, que adquiriu a *Pilkington* em 2006, responde por 55% da capacidade instalada de vidros planos *float*, e 52% considerando o total de vidros planos, dominando assim esse segmento do mercado (ABRAVIDRO, 2016). A francesa Saint-Gobain ainda atua no Brasil no setor de vidro plano impresso e embalagens (Figura 82).

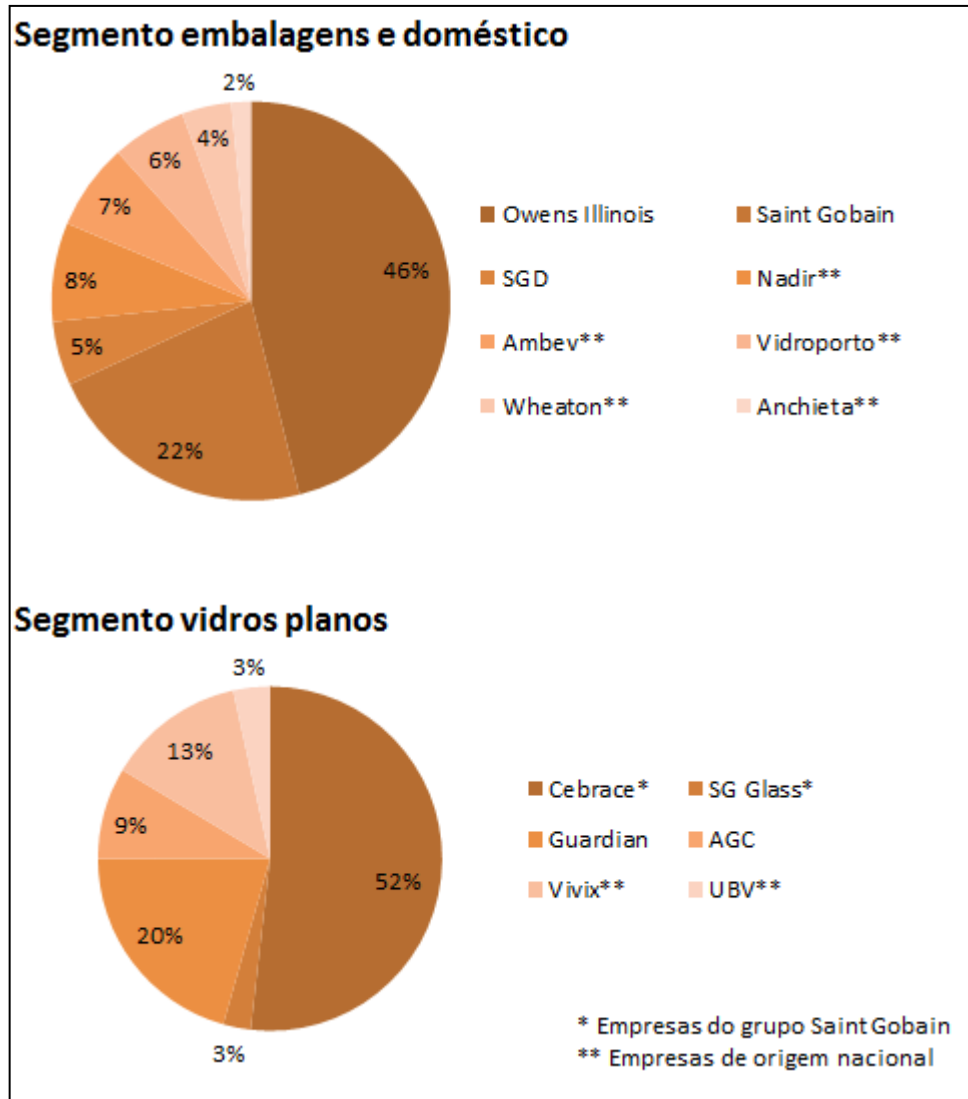


Figura 82: Distribuição da capacidade produtiva da indústria de vidros de acordo com o grupo

Fonte: Elaboração própria baseado em AKERMAN (2014).

O Brasil foi o primeiro país em que a *Saint-Gobain* se estabeleceu fora da Europa, em 1937. O grupo apresenta receita de R\$ 7 bilhões, 53 fábricas, 42 centros de distribuição, 38 lojas e 10 unidades de mineração, empregando 17 mil trabalhadores de forma direta e indireta. Em 2013, os investimentos da *Saint Gobain* do Brasil somaram entre R\$ 300 milhões e R\$ 400 milhões, incluindo a aquisição de uma nova máquina a ser utilizada pela CEBRACE na produção de vidros de proteção solar e seletivos. A *Saint Gobain* vidros representa 20% do grupo no Brasil (CNQ, 2015).

A Guardian é uma empresa de atuação mundial e está entre as líderes na fabricação de produtos para diversos segmentos, como espelhos, vidros planos, também conhecido como vidros 'floats', e vidros especiais. A empresa foi fundada em 1903 com sede mundial em Ohio nos Estados Unidos. Possui 77 unidades em 21 países e mais de 22 mil funcionários no mundo. Em 2013, suas vendas líquidas foram de US\$ 7 bilhões. Possui 13 plantas industriais de vidro na América do Sul, sendo que 7 estão

localizadas no Brasil (CNQ, 2015). Nos setores de embalagens e doméstico, pequenas indústrias brasileiras estão mais presentes. A Nadir Figueiredo é a maior fabricante nacional de copos de vidro (CNQ, 2015).

Para Conte (2011), o mercado brasileiro de vidro plano é fortemente concentrado pelas barreiras de entrada de novas empresas. Entre os motivos para a existência dessas barreiras estão: produção de tecnologia e patentes e o acesso às matérias primas. Além disso, o transporte de vidros apresenta barreiras logísticas importantes, reduzindo a competitividade frente aos produtos importados.

3.3.3 INDICADORES DE ENCADEAMENTO INTERSETORIAL E EFEITO MULTIPLICADOR

A partir de dados da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), foram obtidos os índices de ligação Rasmussen-Hirschman (RH). De acordo com o critério de McGILVRAY (1977), se os setores apresentarem índices de ligação para frente (que expressa o quanto um setor é demandado pelos outros), e/ou para trás (que mostra o quanto um setor demanda dos outros) maiores do que 1 podem ser classificados no conceito restrito como setores-chave. Este é o caso da maioria dos segmentos industriais do Brasil, os quais demonstram alto poder de encadeamento com atividades tanto à jusante, as quais demandam matérias-primas para a elaboração de produtos com maior valor adicionado, quanto à montante da economia.

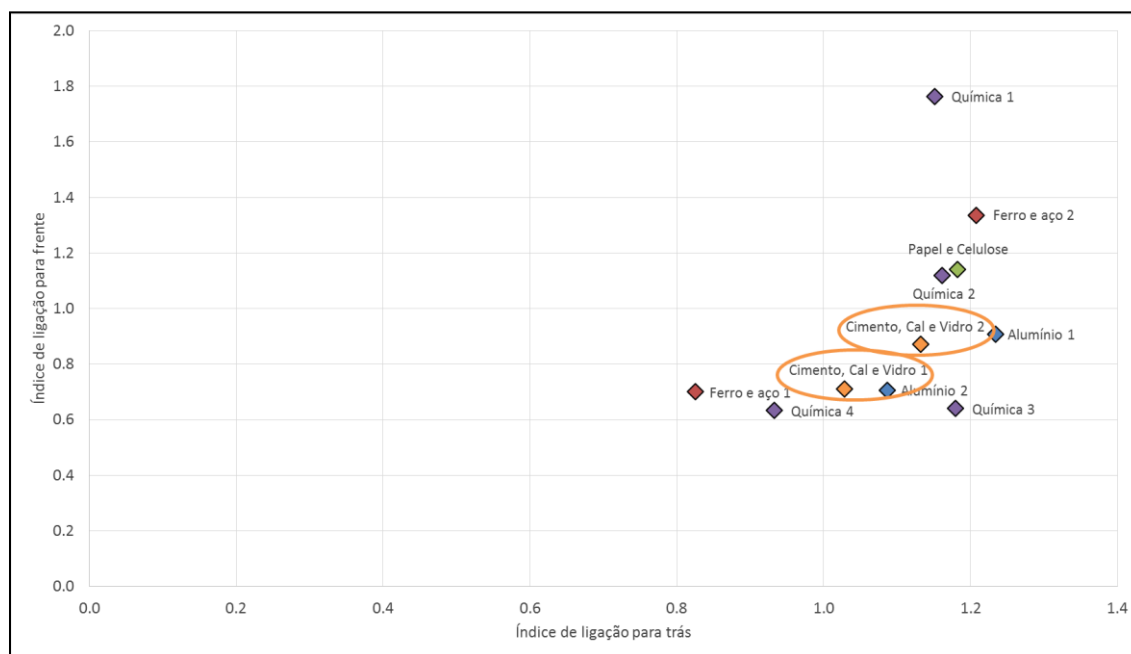


Figura 83: Índices de ligação Rasmussen-Hirschman para Cimento, Cal e Vidro, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Conforme a Figura 83, observa-se que os segmentos *Cimento*, *Cal* e *Vidro 1* e 2, os quais representam, respectivamente, a *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* e a *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos*, apresentam índices de ligação para trás superiores a unidade (1,03 e 1,13, respectivamente), de modo que um aumento do nível de suas atividades gera aumento acima da média na demanda por insumos de outros setores. Contudo, os índices de ligação para frente são inferiores a unidade, o que pode indicar uma concentração das vendas para os setores de construção civil (cimento e vidro) e siderurgia (cal), bem como para a indústria automobilística (vidro), o que pode vir a impactar o setor via dinâmica de investimentos nessas atividades (dependência).

A análise da estrutura econômico-produtiva dos segmentos industriais nacionais também foi realizada através da obtenção dos multiplicadores totais (tipo II) setoriais: de renda, de produção, de emprego e tributário. Em 2010, o multiplicador de renda médio da economia foi de 3,94 e o setor *Cimento*, *Cal* e *Vidro* apresentou multiplicadores de renda inferiores à média, conforme Figura 84. Para cada aumento de R\$ 1 milhão nas remunerações de *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 1) seriam gerados R\$ 3,40 milhões de remunerações em toda a economia, considerando efeitos diretos, indiretos e induzidos. Para *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2), seriam gerados R\$ 3,80 milhões de remunerações em toda a economia dado um aumento de R\$ 1 milhão nas remunerações da atividade. Em termos de produção, ainda na Figura 84, é necessário um total de R\$ 4,57 milhões e R\$ 4,12 milhões para satisfazer cada R\$ 1 milhão de demanda final das atividades *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2) e *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 1), respectivamente.

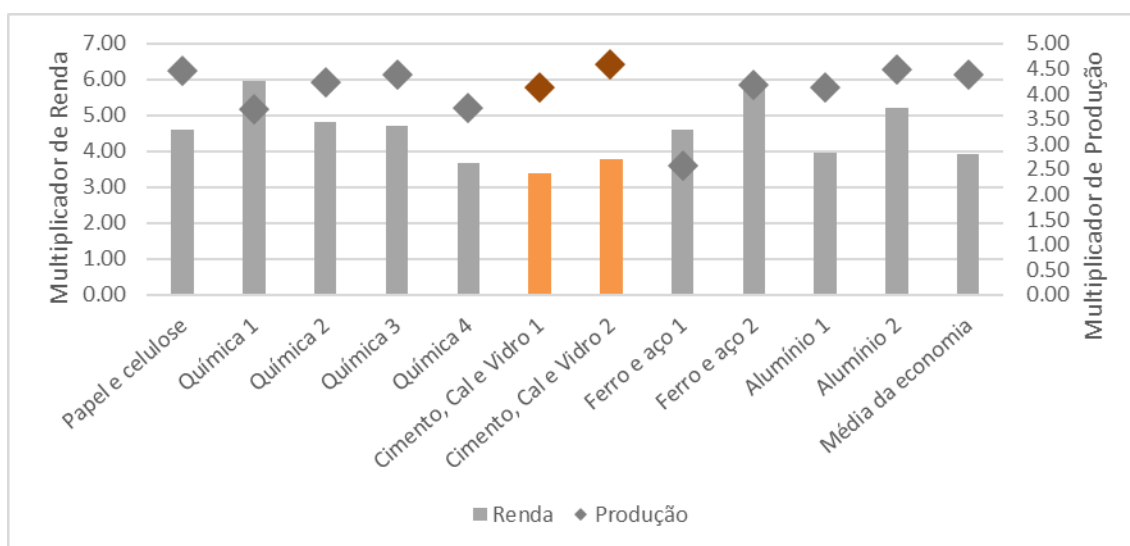


Figura 84: Multiplicadores de renda e de produção para Cimento, Cal e Vidro, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

No que tange aos multiplicadores de emprego e tributário, é possível observar na Figura 85 os resultados do setor *Cimento*, *Cal* e *Vidro* em 2010. O multiplicador de emprego médio da economia dos

setores industriais selecionados do estudo foi de 11,28 e o setor de *Cimento, Cal e Vidro* apresentou multiplicadores de emprego bem inferiores à média. Para cada aumento de 1 emprego na *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 1), considerando efeitos diretos, indiretos e induzidos, seriam geradas apenas 4,41 novas ocupações em toda a economia, enquanto que para *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2) seriam gerados 4,79 empregos. Em termos de tributos, ainda na Figura 85, o setor *Cimento, Cal e Vidro* apresentou os seguintes multiplicadores: para cada R\$ 1 de aumento nos tributos de *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 1) seriam gerados R\$ 3,43 de receita de impostos, líquidos de subsídios, sobre a produção e a importação em toda a economia, enquanto que para *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2) seriam gerados R\$ 3,68 de arrecadação em toda a economia.

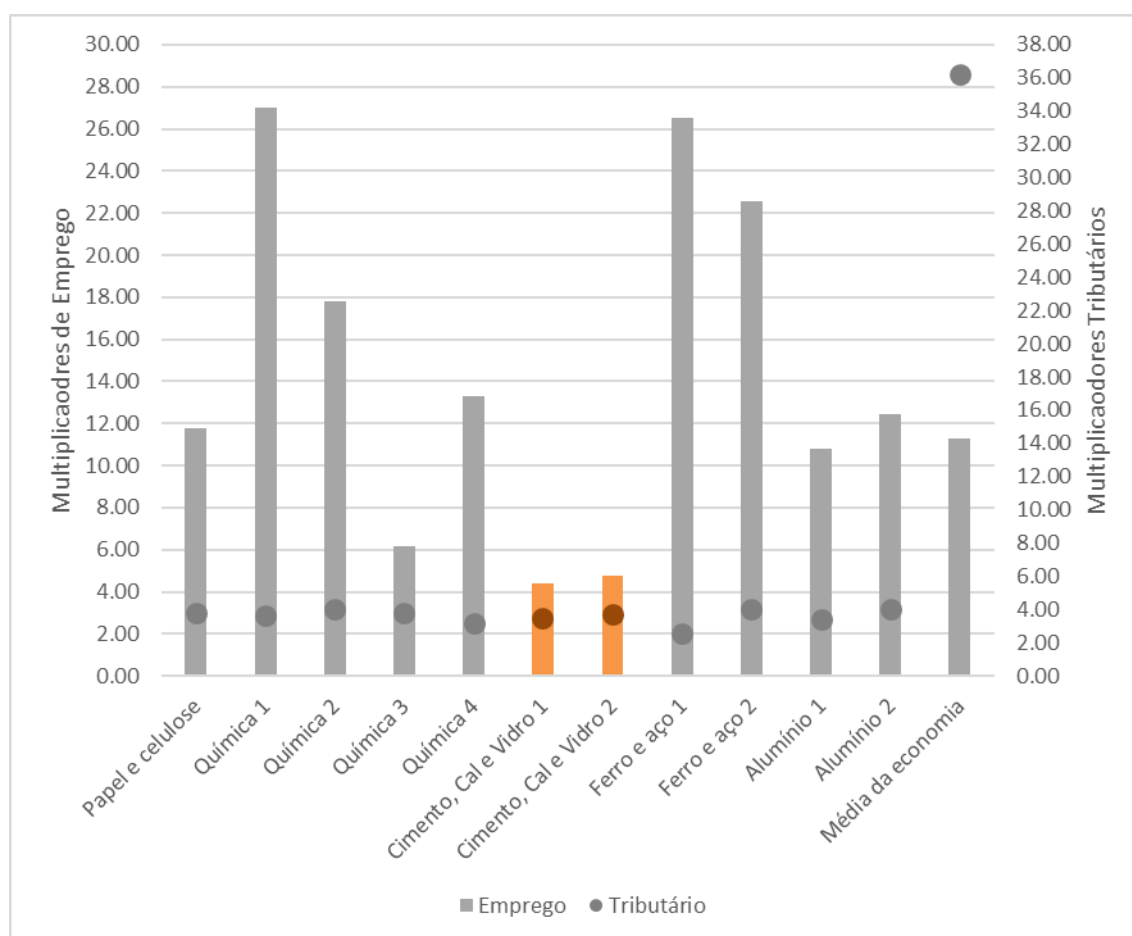


Figura 85: Multiplicadores de emprego e tributários para Cimento, Cal e Vidro, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

3.3.3.1 CIMENTO

O consumo de cimento está diretamente relacionado à construção civil, sendo o cimento um insumo fundamental a esta indústria (ABDI, 2012). Ao observar-se as taxas de crescimento de produção e

consumo aparente de cimento e da construção civil, é possível observar uma convergência no comportamento destas.

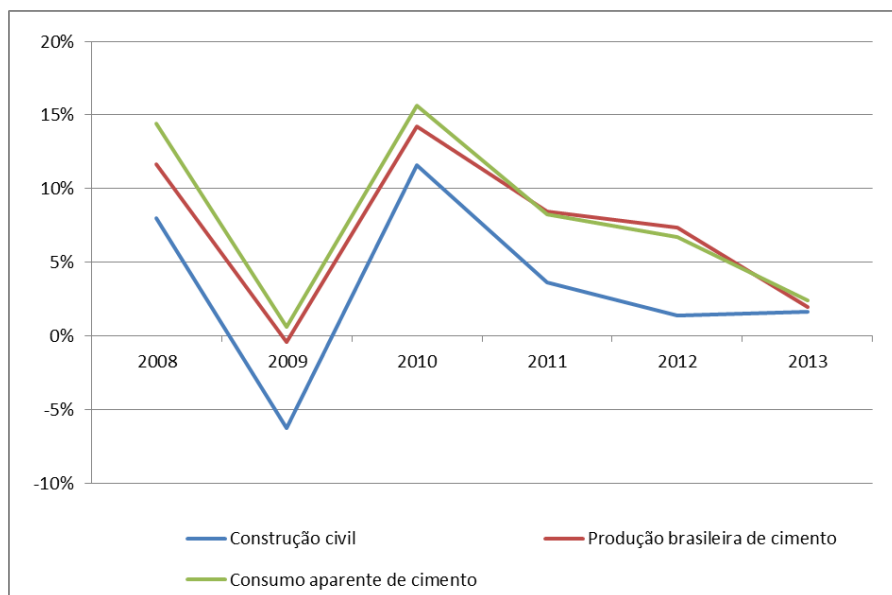


Figura 86: Taxas de crescimento da indústria de construção civil e produção e consumo aparente de cimento

Fonte: SNIC (2016).

O cimento produzido pode ser vendido diretamente ao consumidor final deste, como grandes construtoras e empreiteiras e governo, como pode ser vendida para a indústria, de forma a produzir artefatos de cimento, pré-moldados, fibrocimento e argamassa (SNIC, 2016).

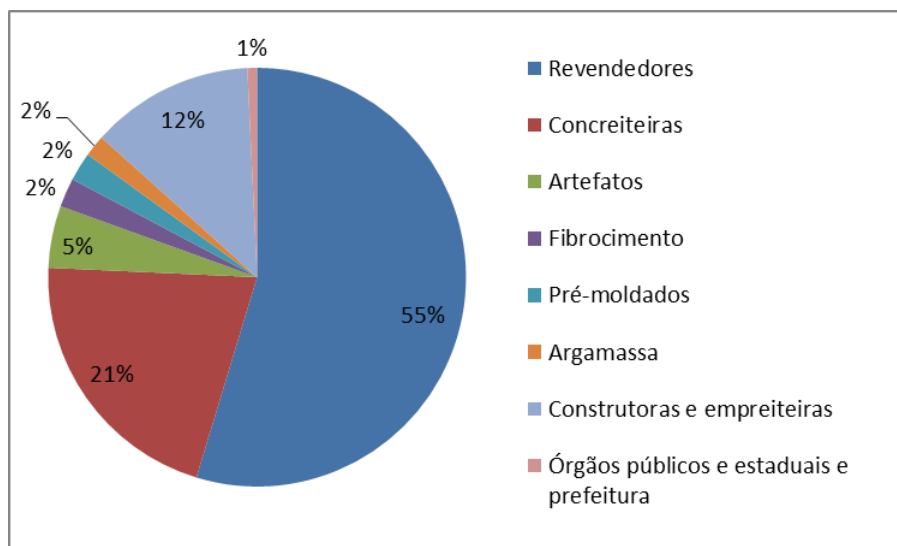


Figura 87: Distribuição do destino da produção de cimento no Brasil em 2013

Fonte: SNIC (2016).

O consumidor individual, conhecido como consumidor formiga de cimento⁴⁶ também tem forte relevância nesta indústria e chegam a consumir 18% do cimento do país. Segundo SNIC, 2016, a região Nordeste é que tem a maior participação do consumidor individual, 25%, enquanto a Centro-Oeste tem a menor, 13%.

3.3.3.2 CAL

A cal pode ser utilizada em diversos segmentos, como na indústria siderúrgica, na construção civil, indústria química, entre outros. Em 2014 o perfil do consumo ficou distribuído conforme mostra a Figura 88. Esse perfil não sofreu grandes modificações ao longo do ano, comparado ao observado em 2007 observa-se apenas a inversão de papel das duas maiores consumidoras industriais de cal. A indústria de construção civil, com 37% da participação em 2007, perdeu o posto de principal consumidor para a indústria siderúrgica, que representava 22% do mercado naquele ano. Os demais segmentos permaneceram com suas participações regulares e lugares relativos no mercado inalterados (ABPC, 2008 e MME, 2017).

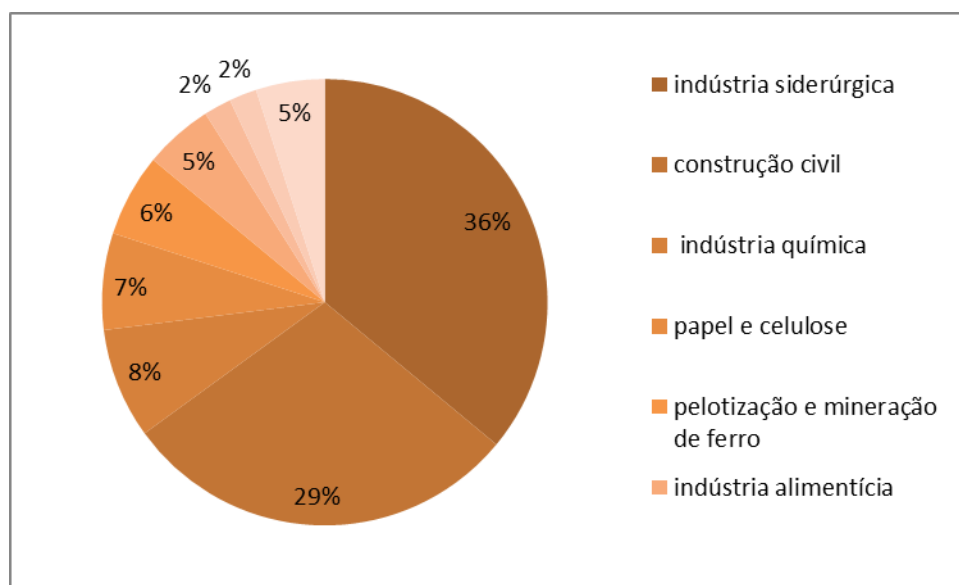


Figura 88: Perfil do consumo de Cal no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de ABPC (2008) e MME (2017).

Na construção civil, o consumo de cal é em sua maior parte de cal hidratada. A siderurgia consome em sua maioria a cal virgem. O impacto da indústria de construção civil e da indústria siderúrgica no

⁴⁶ Aquele que adquire cimento dos revendedores de varejo e o utilizam com mão-de-obra própria ou contratada em construções, reformas e/ou serviços de manutenção e de reparos no próprio imóvel, independente da sua classe de renda (SNIC, 2011)

consumo de cal é expressivo. Para JMendo (2009) a redução de consumo de cal em 2009 em parte pode ser explicada pela retração da produção siderúrgica no período⁴⁷. O menor consumo em 2014 e 2015 pode ser associado a desaceleração da indústria como um todo nestes anos (DNPM, 2015).

3.3.3.3 VIDRO

Conforme mencionado na seção anterior, a indústria de vidros pode ser segmentada em vidros planos, embalagem, doméstico e “vidros especiais/técnicos”. Dentre estes segmentos, o único se destina majoritariamente ao consumidor final é o de vidros domésticos, composto principalmente por utensílios domésticos em geral, como copos e pratos e até mesmo enfeites.

Os segmentos de embalagem abastecem as indústrias farmacêuticas, cosméticos e de alimentos, em sua maioria. Já os vidros especiais, ou técnicos, compreendem uma vasta gama de produtos para uso em diversos segmentos industriais, como o de construção civil, indústria farmacêutica, indústria alimentícia, indústria automobilística, indústria têxtil, etc. Estes produtos requerem algum tipo de característica técnica diferenciada, para atender a propósitos específicos da indústria, como lãs e fibras de vidros para isolamento, tijolos e blocos de vidros, as ampolas para garrafas térmicas, os bulbos de lâmpadas, os vidros para tubo de imagem e as ampolas farmacêuticas para uso em medicamentos (CNI, 2010).

Já o setor de vidros planos está diretamente relacionado a indústria automotiva e de construção civil, sendo usado por exemplo para a fabricação de para-brisas ou portas e janelas (ABRAVIDRO, 2016).



Figura 89: Cadeia de produção da indústria do vidro plano

Fonte: ABRAVIDRO (2016).

⁴⁷ A produção brasileira de aço bruto passou de 33,7 t em 2008 a 26,5 t em 2009, uma retração de cerca de 21% (PWC, 2013).

Uma grande parte do mercado de produção de vidros planos, 42,7%, se destina ao segmento automotivo e comum, que são vidros consumidos sem qualquer necessidade de processamento. Em relação ao consumo de vidros planos com processamento, o vidro temperado representou 61% do total de vidros processados não automotivos em 2015. A queda de consumo dos vidros automotivos⁴⁸ e comuns ultrapassou 14% em 2015, enquanto os vidros não automotivos apresentaram uma redução de 6%. Os processados têm mostrado uma tendência mais forte de crescimento nos últimos anos em relação aos vidros simples, confirmando um comportamento esperado pela indústria de substituição de vidros básicos pelos de melhor desempenho térmico, acústico e de segurança (ABRAVIDRO, 2016).

3.3.4 VULNERABILIDADE EXTERNA

Segundo o conceito do coeficiente de exportações na estrutura de produção, que pode ser obtida através da relação entre a exportação e a produção total para cada um dos setores da economia, uma participação maior do que 20% das exportações, por unidade de produção, indica que o setor é voltado para o mercado externo, logo vulnerável ao comércio internacional (WWF, 2017). Nesse sentido, o setor *Cimento, Cal e Vidro* é um dos menos vulneráveis à perda de competitividade no comércio internacional, tendo em vista serem produtos produzidos e consumidos domesticamente. Os indicadores baixos justificam-se em parte porque os volumes de importações e exportações da indústria de cimento no Brasil são muito pouco significativos, tendo em vista o baixo valor agregado por peso, perecibilidade e questões logísticas⁴⁹. Em relação ao Cal, as exportações se concentram em poucos destinos, de modo que o déficit apresentado na Figura 94 vem crescendo devido à perda de competitividade para o Uruguai e a China. De acordo com DNPM (2017), o Uruguai, desde 2010, passa a ser o principal país de procedência das importações brasileiras de cal.

Em 2010, *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 1) e *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2) apresentaram ambos 6% de exportações por unidade de produção, conforme pode ser observado na Figura 90.

⁴⁸ Entre 2014 e 2015 houve uma redução de 27% do total de veículos novos licenciados (ANFAVEA, 2017).

⁴⁹ Conforme mencionado anteriormente, o cimento é perecível e requer condições específicas de armazenamento, além de ter alto custo de transporte em relação ao baixo valor agregado do produto.

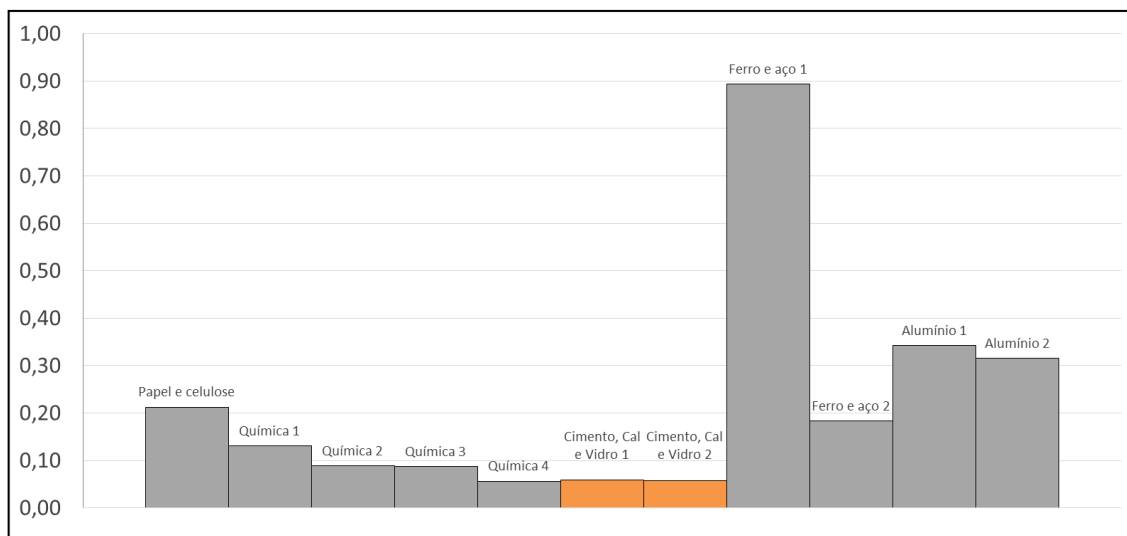


Figura 90: Coeficiente de Exportação para Cimento, Cal e Vidro, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O coeficiente de penetração das importações é a parcela da oferta interna atendida pelas importações. No Brasil, é possível observar que os produtos do setor *Cimento, Cal e Vidro* apresentam coeficientes de penetração de importação abaixo da média dos setores industriais selecionados do estudo (14%), conforme pode-se observar na Figura 91. Cerca de 9% do mercado doméstico é atendido por *Vidros, cerâmicos e outros produtos de minerais não-metálicos* importados e 3% por *Cimento* importados.

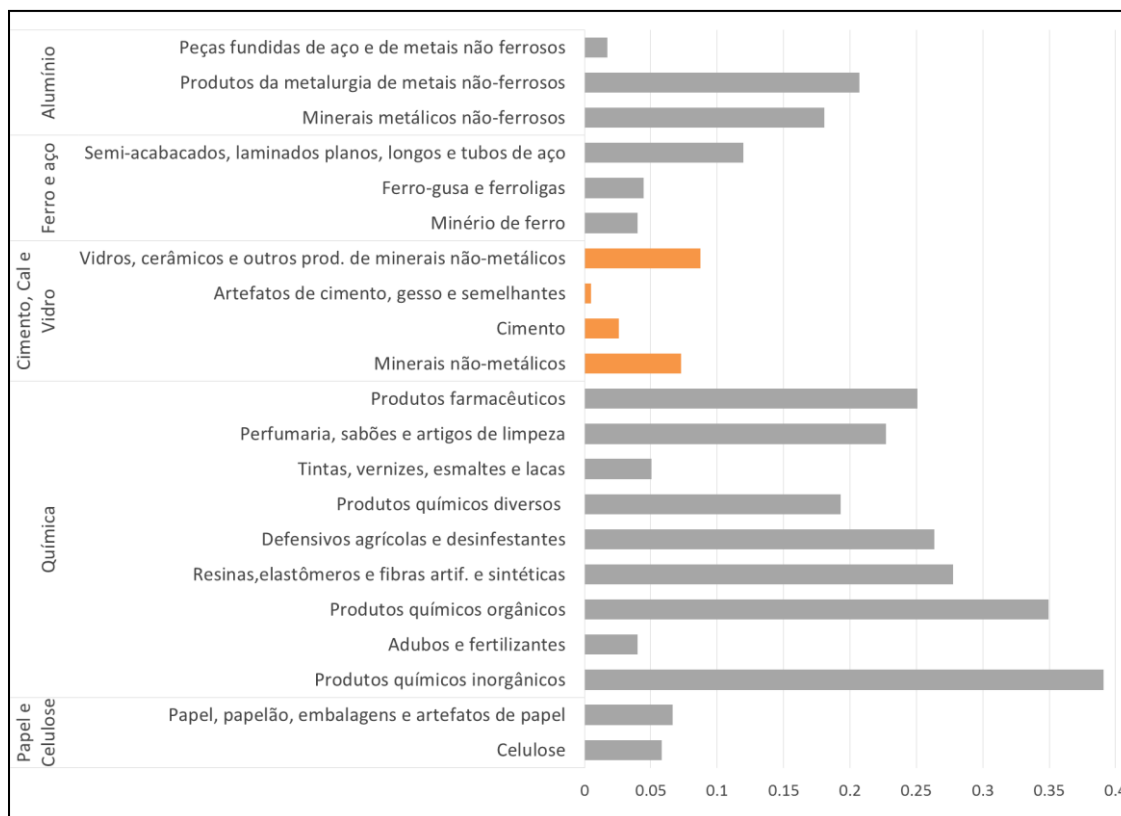


Figura 91: Coeficiente de penetração das importações de Cimento, Cal e Vidro, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

3.3.4.1 CIMENTO

Os volumes de importações e exportações da indústria de cimento no Brasil são muito pouco significativos quando comparados com o consumo aparente do país. As importações, que representam um maior volume que as exportações, correspondem a cerca de 1,5% do total do consumo aparente nacional. A Figura 92 mostra o histórico de importações e exportações de cimento no Brasil.

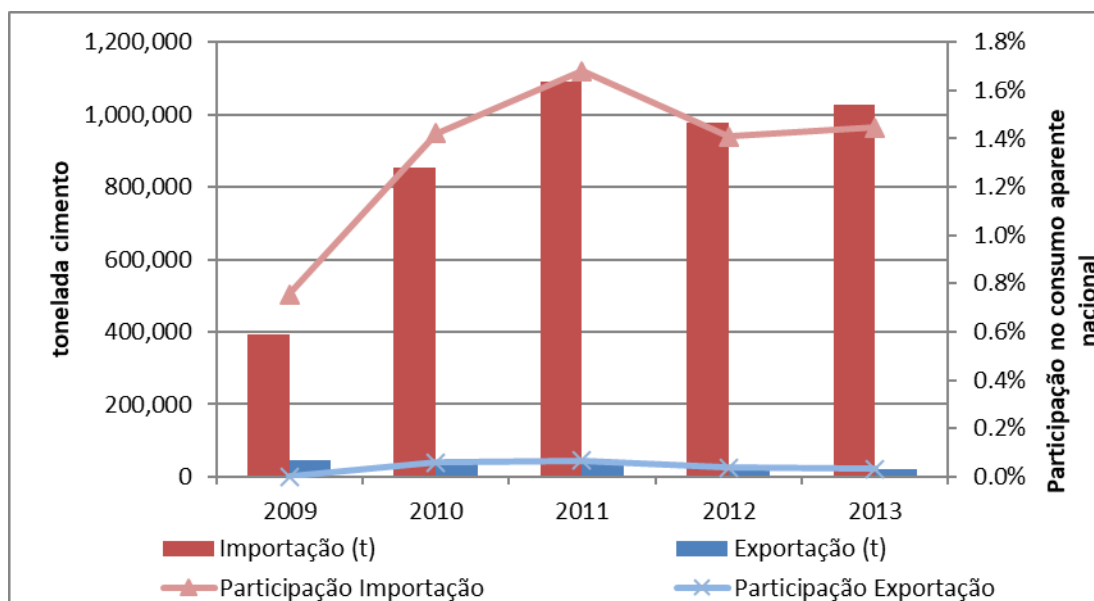


Figura 92: Importações e exportações do setor de cimento e sua participação no consumo aparente nacional

Fonte: SNIC (2016) apud SECEX (Alice Web).

No ano de 2013, todas as exportações brasileiras se destinaram a apenas três países, Bolívia, Colômbia e Paraguai. Entre 2010 e 2012 dois países africanos, África do Sul e Angola também importaram cimento brasileiro. Em relação às importações, estas são mais diversificadas. Em 2013 cerca de 50% das importações foram provenientes da Europa, enquanto 30% veio do continente americano. No total, o Brasil importou de cerca de 20 países, com o maior volume individual vindo de Portugal (21%), seguido de Vietnã (19%) e Espanha (17%) (SNIC, 2016).

3.3.4.2 CAL

Em 2015, a produção mundial de cal foi de 350 milhões de toneladas. A China permaneceu liderando, com participação de 66%. O Brasil participando com 2,4% ocupou a 5ª posição no cenário internacional. Os Estados Unidos aparecem como segundo maior produtor, 19 milhões de toneladas, seguido da Índia, 16 milhões de toneladas, e Rússia, 11 milhões de toneladas (USGS, 2017).

Nos últimos anos a produção de cal no mundo permaneceu estável, não sofrendo grandes variações desde 2012. Porém, é possível observar o decréscimo de consumo observado no ano de 2009, assim como ocorreu no Brasil, sendo a queda de produção brasileira (9,0%) mais acentuada que a queda mundial (3,6%) (USGS, 2017). Comparando a produção nacional com a mundial no ano de 2014 observa-se que a queda de 3,2% da produção brasileira em relação ao ano anterior não acompanhou o desempenho mundial, que teve crescimento de 2,0% (USGS, 2017).

O consumo *per capita* mundial de consumo de Cal nos últimos anos gira em torno de 30 kg por habitante. Entre os maiores consumidores *per capita* do mundo, segundo o *Mineral Industry Surveys*,

citam-se: Bélgica 193, Alemanha 130, Polônia 119, Rússia 112 kg/hab/ano. O consumo per capita brasileiro em 2015 foi de 39 kg/hab/ano. A quantidade de exportação e importação de cal é pequena, de modo que o consumo aparente equivale à produção interna (MME, 2017).

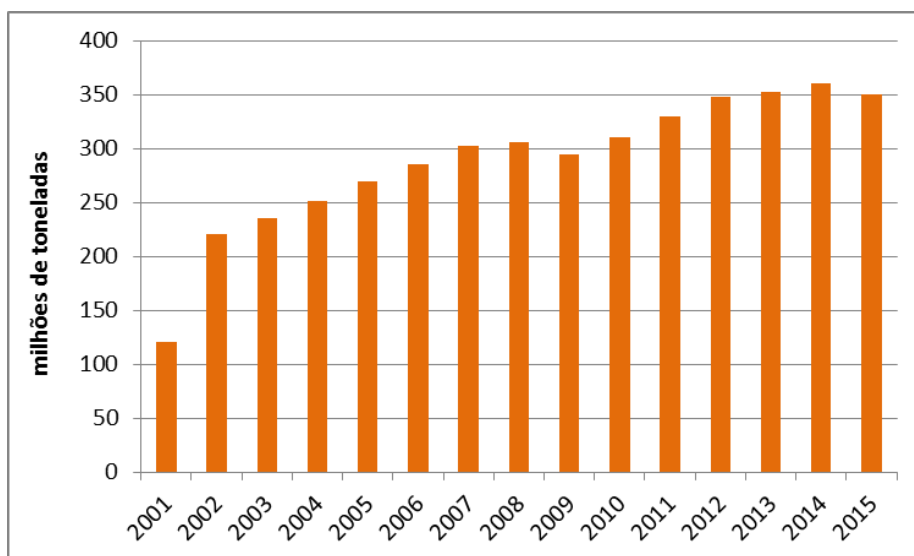


Figura 93: Evolução da produção mundial de cal

Fonte: USGS (2017).

Segundo dados de DNPM (2015), em 2014, as importações de semifaturados de rochas calcárias (cal virgem e hidratada) somaram 64,8 mil toneladas, o equivalente a US\$ 7,8 milhões.

Nos últimos anos o volume de cal importado aumentou significativamente, dois momentos de grande incremento podem ser observados, entre os anos de 2010 e 2011, 386%, e entre 2013 e 2014, 239%. O Uruguai foi o principal país de procedência destes produtos, respondendo por 94,5% do total importado (DNPM, 2017).

As exportações, por sua vez, mostraram aumento significativo em seu volume comercializado entre os anos de 2012 e 2013, com 124% de incremento. Em 2014 o total de cal virgem e cal hidratada exportada chegou a 9,6 mil toneladas, no valor de aproximadamente US\$ 1,4 milhões. Os principais destinos destes produtos foram o Paraguai (72%) e o Uruguai (21,5%), sendo o transporte feito por via terrestre (DNPM, 2017). Ainda que se tenha observado um aumento nas importações de Cal, estas continuam representando uma parcela mínima do total produzido no Brasil. O volume importado em 2014 equivale a 0,8% da produção brasileira neste ano (DNPM, 2017).

A América Latina concentra a grande parte do comércio internacional de cal no Brasil. Dados de 2008 já mostravam essa estrutura de importações e exportações que permanece até os dias de hoje. Paraguai e Uruguai representavam os principais destinos de cal brasileira desde 2008, assim como a Argentina era o principal país de procedência destes produtos, mas desaparece como principal país de procedência desde 2011, quando o Uruguai começa a suprir as importações com 86,7% do total. A

China que em 2008 representava 24% do total importado passa a não figurar entre os principais países de procedência (DNPM, 2017).

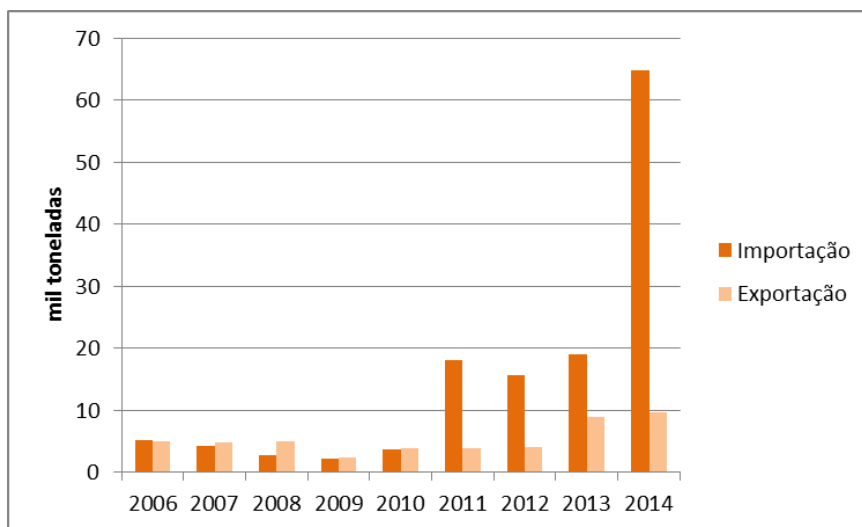


Figura 94: Volume de importação e exportação de Cal no Brasil

Fonte: DNPM (2017) apud SECEX (Alice Web).

Historicamente a balança comercial brasileira de cal tem se mostrado deficitária, com maior déficit observado a partir de 2011 quando os importados aumentaram seu volume significativamente, o que não ocorreu nos exportados.

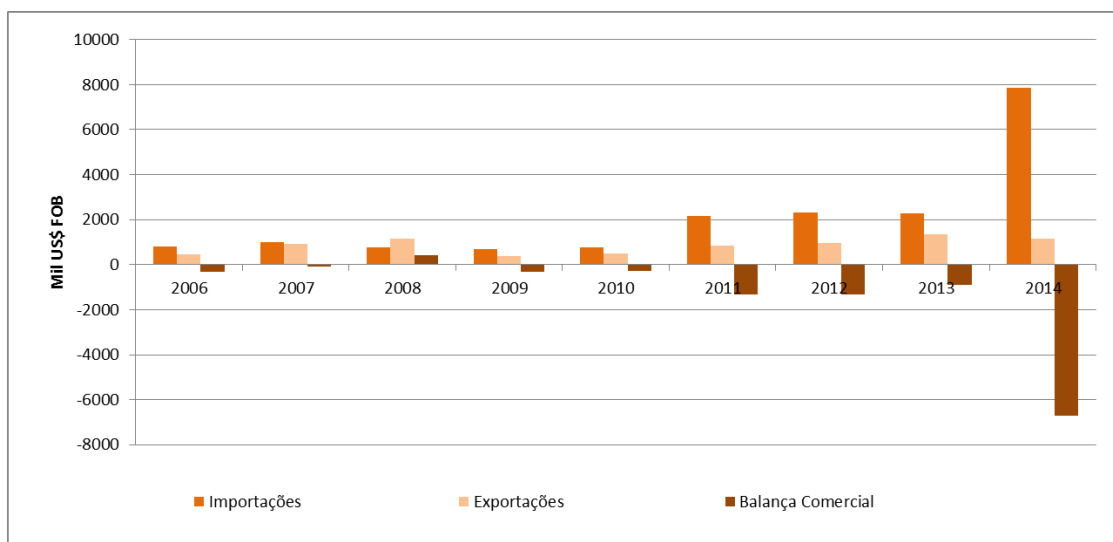


Figura 95: Balança comercial brasileira de Cal

Fonte: Elaboração própria a partir de DNPM (2017) apud SECEX (Alice Web).

3.3.4.3 VIDRO

Dados de 2011, estimaram que os vidros planos produzidos no Brasil representaram cerca de 2,7% da produção mundial que foi de 55 milhões de toneladas (MME, 2015). No mundo, 80% foram consumidos em aplicações na construção civil, 10% em aplicações automotivas e 10% em aplicações especiais (NSG, 2017). O faturamento no Brasil foi de aproximadamente US\$ 33,4 bilhões, o que corresponde a 5,3% do total mundial. A China se destaca como maior país produtor e consumidor mundial de vidro *float*, representando 51% da demanda mundial, seguindo-se Europa com 17%; América do Norte com 7%; Sudeste Asiático com 6%; Japão; Rússia e Resto do Mundo com 5% cada um e América do Sul com 4% (MME, 2015).

Segundo o CNQ (2015), para o mercado de vidros planos especificamente, essa situação se iniciou por conta da elevação dos custos de produção, decorrente do aumento dos preços do gás natural, o que aumentou fortemente a concorrência chinesa, com a ampliação de fatias importantes do mercado interno sendo abastecidas pela importação proveniente da China. Os principais países de onde o Brasil importa vidro, e suas respectivas participações, em 2015, em termos de valor de troca comercial em US\$ FOB, são a China (48,8%), os Estados Unidos (8,8%) e Alemanha (8,8%) o México (5,6%).

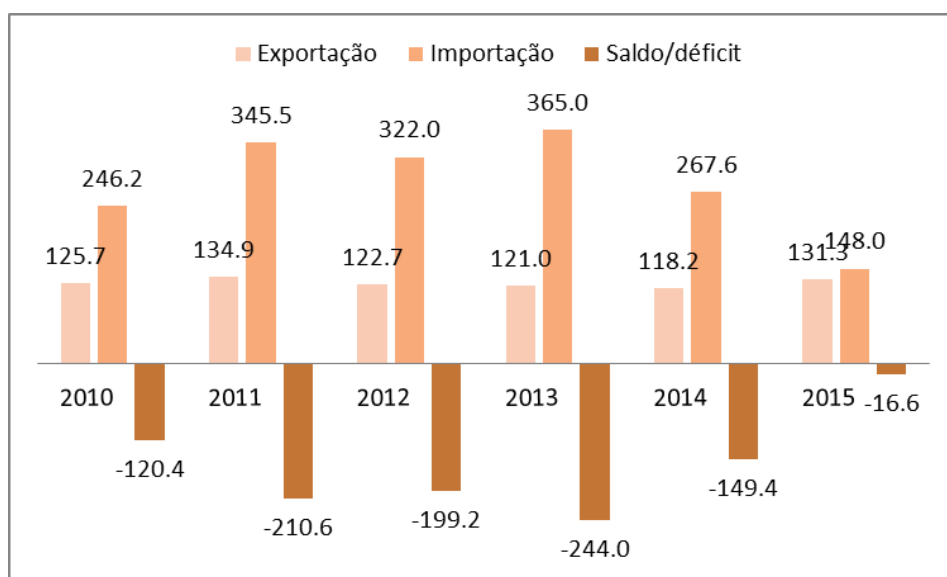


Figura 96: Balança comercial brasileira de vidros planos no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de SECEX (Alice Web) (2017).

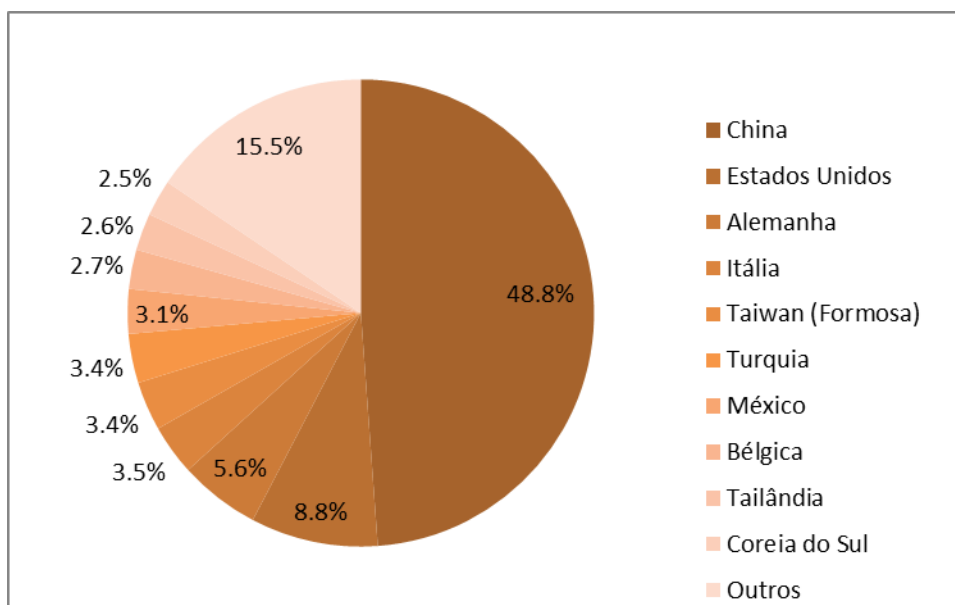


Figura 97: Participação dos países na importação de produtos de vidro plano no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de SECEX (Alice Web) (2017).

As exportações de vidro se concentram em poucos destinos e desde 2008 a indústria brasileira de vidros vem apresentando um saldo comercial deficitário, contudo já foi uma grande exportadora, sobretudo para países da América Latina (AKERMAN, 2014). Em 2013, o déficit totalizou US\$ 537 milhões (AKERMAN, 2014). Em 2012, ano mais recente para o qual estão disponíveis dados que permitem comparações, pode-se estimar que, em volume físico, as exportações representaram 5% da produção doméstica, e as importações, 23% do consumo aparente de vidro no Brasil (AKERMAN, 2014). Neste sentido, conquanto os dados agregados da matriz Insumo-Produto em 2010 revelem uma aparente reduzida fragilidade do setor dentro de minerais não-metálicos, os dados setoriais mais finos e mais recentes indicam um quadro mais desafiador e negativo, com uma crescente perda de competitividade para a importação. A partir de 2014 tem sido observado uma melhora neste déficit (ver Figura 98).

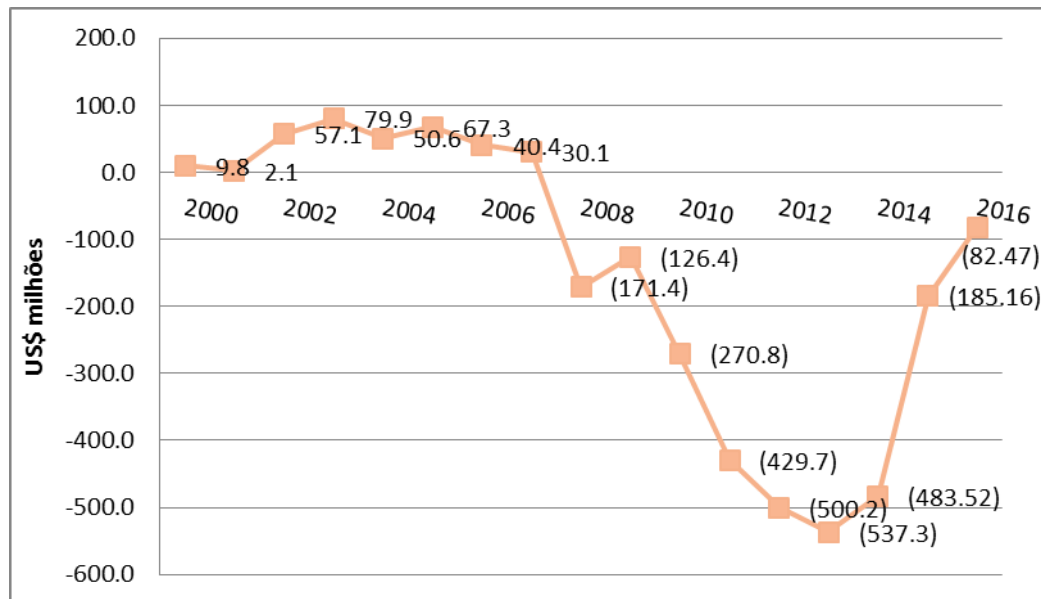


Figura 98: Balança comercial brasileira do setor de vidros

Fonte: Elaboração própria a partir de AKERMAN (2014) e SECEX (Alice Web) (2017).

O destino das exportações brasileiras de vidro plano está concentrado na América Latina. Dos dez maiores importadores do Brasil em 2015, sete são da região, e mais da metade da exportação brasileira se destinou a Argentina. Ainda que as exportações de vidros planos tenham se mantido no mesmo patamar entre os anos observados, percebe-se um decréscimo acentuado das importações entre os anos de 2013 e 2015. Esse fator pode ser explicado pelo antidumping do *float* incolor⁵⁰ e pela queda do consumo doméstico atrelado ao aumento da capacidade de produção devido à entrada das duas novas plantas no Brasil, AGC e Vivix.

⁵⁰ Em julho de 2014 o governo brasileiro aprovou a aplicação do direito antidumping provisório para vidros *float* incolor, através da Resolução 55, de 11 de julho, e confirmou a decisão em caráter definitivo em dezembro. O direito se aplica às importações brasileiras originárias da Arábia Saudita, da China, do Egito, dos Emirados Árabes Unidos, dos Estados Unidos da América e do México e será recolhido sob a forma de alíquota específica fixada em dólares estadunidenses por tonelada, nos montantes especificados pelo documento. Recolhido sob a forma de alíquota específica fixada em dólares estadunidenses por tonelada, nos montantes especificados pelo documento (CAMEX, 2014 e ABRAVIDRO, 2016).

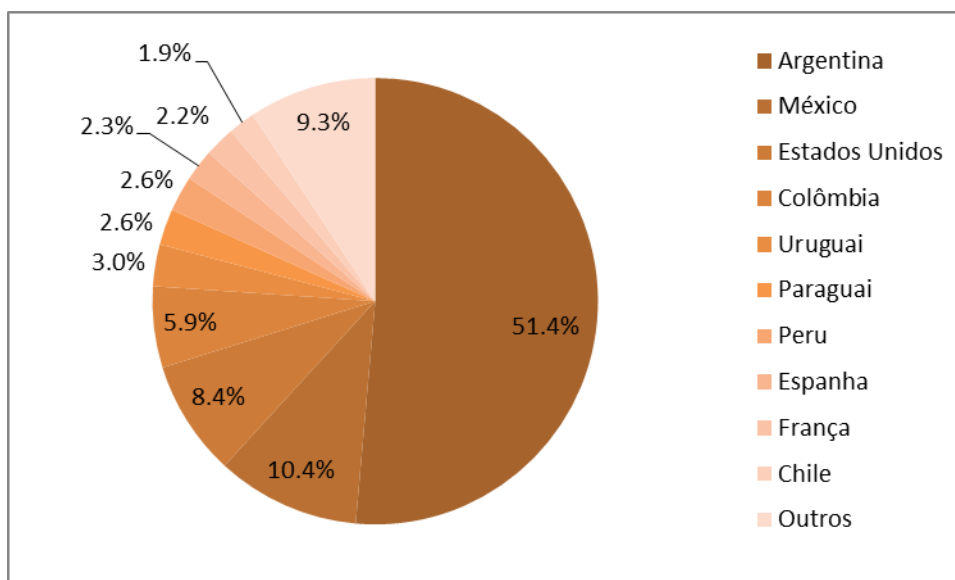


Figura 99: Participação dos países na exportação de produtos de vidro plano no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de SECEX (Alice Web) (2017).

3.3.5 REFERÊNCIAS

ABDI, 2012. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Subsídios para a Elaboração de uma Estratégia Industrial Brasileira para Economia de Baixo Carbono. Caderno 4 – Nota Técnica Cimento. 2012. Disponível em <<http://www.abdi.com.br>>.

ABRAVIDRO, 2016. Panorama ABRAVIDRO – Edições 2012 à 2016. Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos. Disponível em: <http://abravidro.org.br/mercado/panorama-abravidro/>. Acesso em 04/2017.

ABRE, FGV, 2016. Estudo Macroeconômica da Embalagem ABRE/FGV. Associação Brasileira de Embalagem, Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: <http://www.abre.org.br/setor/dados-de-mercado/dados-de-mercado-2016/>. Acesso em: 04/2017

Akerman, M., 2014. Economia de baixo carbono: Avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas – Indústria do vidro. Núcleo de estudos de economias de baixo carbono, Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, SP.

ANFAVEA, 2017. Estatísticas. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html>. Acesso em: 05/2017

ABCP, 2002. Boletim técnico: Guia básico de utilização do cimento Portland. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 2002.

APBC, 2008. Visão geral do setor de Cal no Brasil. Associação Brasileira de Produtores de Cal. Disponível em: http://www.apfac.pt/eventos/seminario_argamassas_fabris_2008/ABPC%20Tektonica08.pdf. Acessado em: 04/2017.

CAMEX, 2014. Resolução nº55/2014 – Antidumping provisório: vidros planos flotados incolores. Câmara de Comércio Exterior, 07/2014

CEMPRE, 2016. Artigos e publicações, vidro, disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro> em 19/4/2017>

CNI, 2010. Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria. Relatório Setorial: Cal e Gesso. Confederação Nacional das Indústrias, Brasília, 2010.

CNI, 2016. Estratégias Cooperativas de Baixo Carbono, Setor do vidro. Confederação Nacional das Indústrias, Brasília, 2016.

CNQ, 2015. Panorama Setor de Vidro. Confederação Nacional do Ramo Químico, 2015

Conte, F.G.R., 2011. Análise da Implantação de uma fábrica de vidros planos no Nordeste do Brasil com aplicação de teoria das opções reais. Dissertação submetida à UFPE para obtenção do título de mestre. UFPE, Recife, Pernambuco, 2011

DNPM, 2015. Sumário Mineral 2014. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2015

DNPM, 2017. Publicações - Sumário Mineral 2009 - 2015. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/acervo/publicacoes>. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2015. Acesso em 04/2017

EBC, 2012. Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono. Indústria de Cimento. Relatório Final. Ribeirão Preto, 2012.

ETENE, 2016. Caderno Setorial Etene: A Indústria de Vidros Planos. Banco do Nordeste, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste, Nov. 2016

GUILHOTO, J. J. M., 1994, “Índices de ligações e setores-chave na economia brasileira: 1959/80”, Pesquisa e Planejamento Econômico, v. 24, pp. 287-314.

IBGE, 2014. Cadastro Central de Empresas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/cempre/quadros/brasil/2014>

IBGE, 2015. Matriz insumo-produto: Brasil 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/matrizinsumo_produto/2010/default.shtm

IBGE, 2016. Pesquisa Industrial Mensal Produção Física – Brasil, Notas Metodológicas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfbr/notas_metodologicas.shtm. Acesso em: 04/2017

IBGE, 2017. SIDRA: Pesquisa Industrial Mensal, Produção Física Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pim-pf-brasil/tabelas>. Acesso em: 04/2017

J.Mendo, 2009. O perfil da Cal – Contrato nº48000.003155/2007-17 Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodenal (2010 – 2030) de geologia, mineração e transformação mineral: Ministério de Minas e Energia, Banco Mundial e J.Mendo Consultoria, 2009.

MCGILVRAY, J., 1977, Linkages, key sectors and development strategy. In.: Leontief, W. (Ed.). Structure, system and economic policy. Cambridge: University Press.

MCTI, 2010. Ministério da Ciência e Tecnologia. Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais – Produtos Minerais. Parte I. Produção de Cimento. 2010.

MME, 2012. Anuário estatístico do setor de transformação de não-metálicos, parte 2 2011 - Vidros. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2012.

MME, 2016. Anuário estatístico do setor de transformação de não-metálicos, 2015 - Vidros. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2016.

MME, 2017. Anuário estatístico do setor de transformação de não-metálicos, 2012 – 2016: Vidros. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>. Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2017.

MONTANA, P.F., BASTOS, H.B., 2013. A indústria de vidro plano: conjuntura atual e perspectivas. BNDES Setorial. Banco Nacional do Desenvolvimento, 09/2013.

NSG, 2017. About NSG Group, What we do. Disponível em: <http://www.nsg.com/en/about-nsg/whatwedo>. Acesso em: 04/2017.

SECEX (AliceWeb), 2017. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em <http://aliceweb.mdic.gov.br/>. Acesso em: 04/2017

SNIC, 2012. Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento. Relatório Anual 2012.

SNIC, 2016. Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento. Relatórios Anuais de 2008-2013

WWF, 2017. Medidas Baseadas no Mercado no Transporte Marítimo das Exportações Brasileiras. WWF-Brasil, Brasília, abril de 2017.

3.4 FERRO E AÇO

O presente item trata do setor de ferro e aço, indicando suas características gerais (VBP – valor bruto de produção, VA - valor adicionado, produção, vendas e desagregação do setor), seu grau de concentração (coeficiente de pessoal ocupado, índice de razão de concentração, número de empresas, maiores produtores etc), seus indicadores de encadeamento (índices de ligação Rasmussen-Hirschman e multiplicadores de renda e emprego) e sua caracterização do comércio internacional (balança comercial, destino das exportações e coeficientes de exportações e importações). O estudo fez uso das publicações dos anuários estatísticos do Instituto Aço Brasil (IAB) e do Sindicado da Indústria de Ferro do Estado de Minas Gerais (SINDIFER), bem como dos estudos setoriais da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e da Confederação Nacional das Indústrias (CNI).

3.4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O setor *Ferro e Aço* é composto por dois segmentos: 1) Extração de Minério de Ferro e 2) Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço. Tal setor apresentou um VBP de R\$ 148 bilhões no ano de 2010, representando cerca de 2% VBP nacional naquele ano. Além disso, representou 7,4% do VBP da indústria de transformação, destacando-se o segmento *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura*, com cerca de 4,6% em 2010, conforme pode ser visualizado na Figura 100. A Figura 100 evidencia também que o setor *Ferro e Aço* é o segundo maior dentro dos segmentos e setores selecionados do estudo.

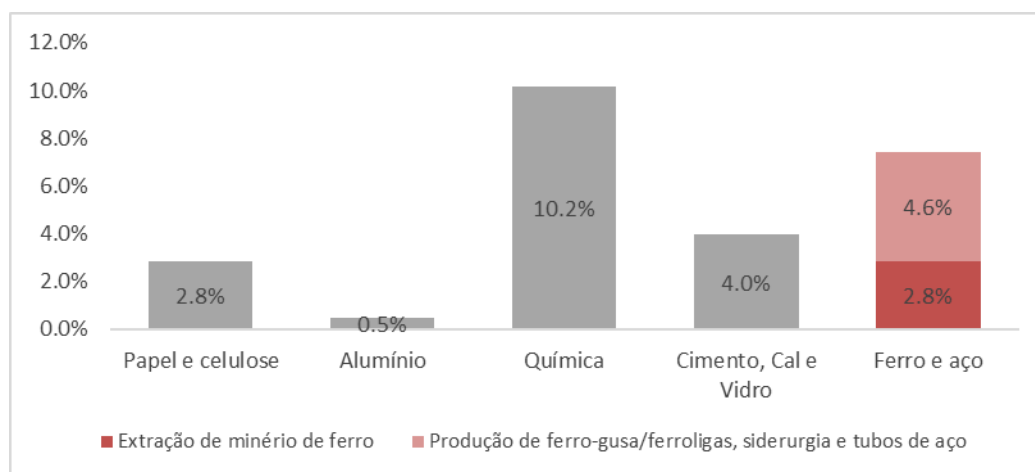


Figura 100: Participação do VBP do setor Ferro e Aço na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Ao ser comparado com os demais setores do estudo, isto é, *Papel e Celulose*, *Química*, *Cimento, Cal e Vidro* e *Alumínio*, é possível observar que o setor *Ferro e Aço* representa 28% do somatório do VBP

de todos os setores selecionados, conforme Figura 101. No que tange a geração de valor, o segmento *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço* representa cerca de 17%, enquanto que *Extração de minério de ferro*, 11%.

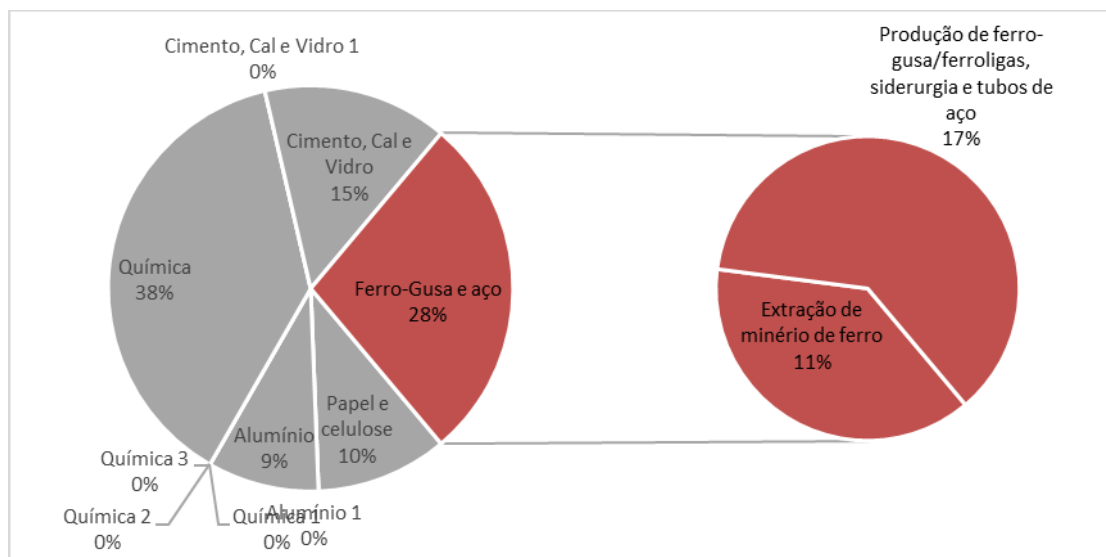


Figura 101: VBP do setor Ferro e Aço x VBP dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Em termos de valor adicionado (VA), o setor *Ferro e Aço* alcançou cerca de R\$ 53 bilhões em 2010, representando 1,6% do PIB nacional. Já no que diz respeito ao valor adicionado da indústria de transformação, o setor correspondeu a 10,8% do total em 2010, sendo o de maior representatividade dentro dos setores selecionados do estudo, conforme Figura 102. Além disso, merece destaque o setor de *Extração de minério de ferro*, que foi o de maior representatividade com 7,4% do valor adicionado da indústria de transformação em 2010 (considerando-se os segmentos dos setores selecionados dos estudos).

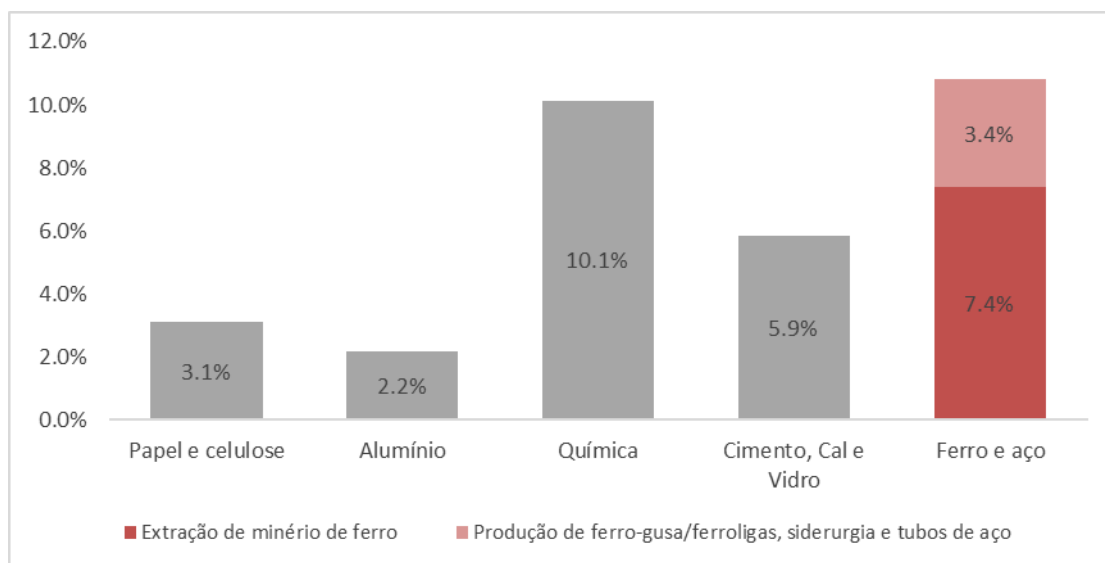


Figura 102: Participação da VA do setor Ferro e Aço na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Ao comparar o somatório do valor adicionado dos setores selecionados do estudo, verifica-se que o setor *Ferro e Aço* representa 34%, conforme Figura 103, sendo, portanto, o setor de maior representatividade. O segmento *Extração de minério de ferro* representou 23% do valor adicionado dos setores em 2010, enquanto o segmento *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço* representou 11% em 2010.

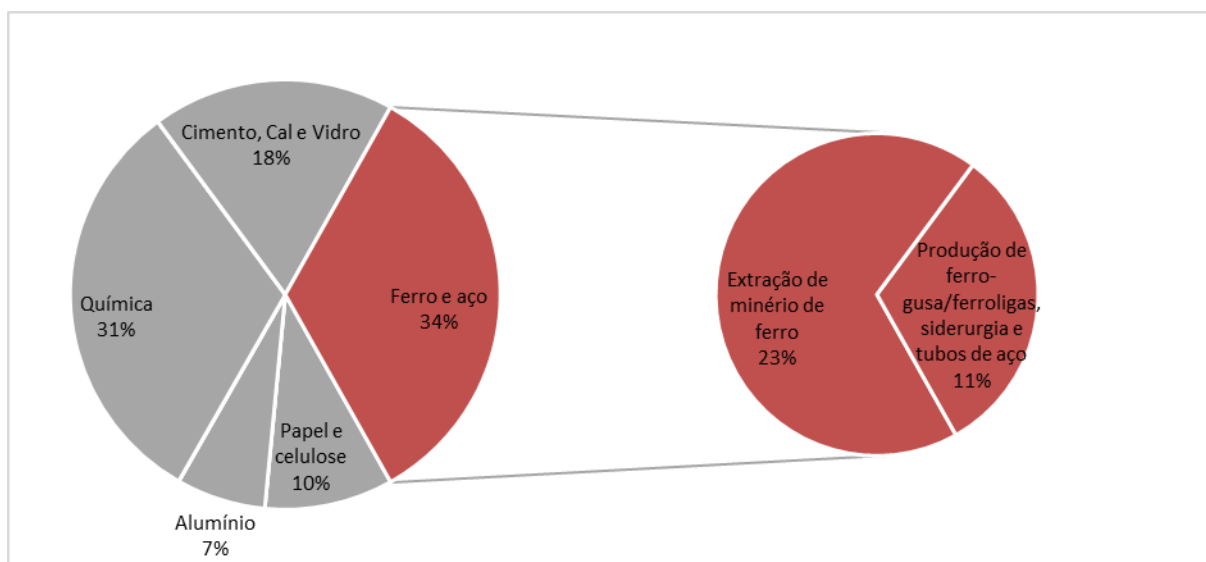


Figura 103: VA do setor Ferro e Aço x VA dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O valor adicionado gerado pela indústria do aço apresentou crescimento recente, devido ao aumento da receita, sendo que, este aumento se deu pela melhora das vendas do mercado interno. Entretanto essa condição foi alterada após o ano de 2013.

A produção do subsetor *Ferro e Aço* apresenta importantes *commodities* destinadas ao mercado externo, mas também serve de matéria-prima para outros segmentos e setores nacionais (consumo intermediário). Em 2010, o segmento *Minério de ferro* destinou cerca de 79% da sua produção às exportações e 21% ao consumo intermediário (Figura 104). Os produtos de *Ferro-gusa e ferroligas* tiveram praticamente a metade da sua produção (49%) destinada ao mercado externo e cerca de 51% aos outros segmentos e setores brasileiros. Já os produtos *Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço* tiveram cerca de 89% de sua produção destinada ao mercado externo e cerca de 11% aos outros segmentos e setores brasileiros. Tais produtos são essenciais e se apresentam como matéria-prima fundamental para diversos segmentos da indústria, além de serem totalmente recicláveis e de limitada substituição.

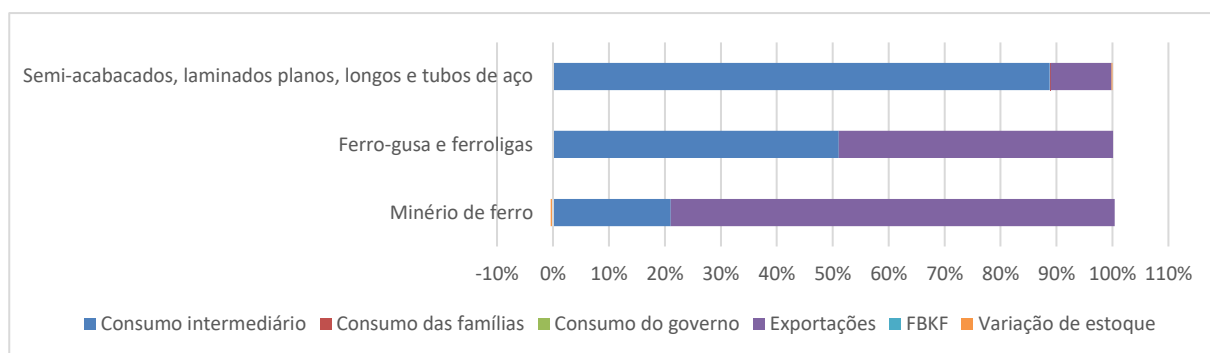


Figura 104: Distribuição das vendas do setor Ferro e Aço, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O Brasil é o nono maior produtor de aço bruto⁵¹ do mundo, tendo atingido, em 2012 a produção de 2,2% do aço bruto mundial. A Tabela 51 mostra um comparativo da produção de aço bruto no Brasil com o mundo.

Tabela 51: Produção da Siderurgia Mundial e Brasileira de Aço Bruto – Milhões de toneladas

Produção de Aço Bruto	1970	1980	1990	2000	2010	2012
Mundial - (A)	595,4	715,6	770,5	848,9	1.431,4	1.547,4
América Latina - (B)	13,2	28,9	38,2	56,1	61,7	65,7
Brasil - (C)	5,4	15,3	20,6	27,9	32,9	34,5

⁵¹ Aço bruto, de acordo com o Instituto Aço Brasil, corresponde à produção de aço em lingotes, produtos de lingotamento contínuo e aço para a fundição (Instituto Aço Brasil, 2013).

Produção de Aço Bruto	1970	1980	1990	2000	2010	2012
C/A (%)	0,9	2,1	2,7	3,3	2,3	2,2
C/B (%)	40,9	52,9	53,9	49,7	53,3	52,5
Posição Relativa do Brasil no Mundo	18º	10º	9º	8º	9º	9º

Fonte: Instituto Aço Brasil (2013).

A produção de aço via rota integrada representa a maior parte da produção mundial de aço. Tal produção consiste basicamente na redução de óxido de ferro a ferro-gusa e posterior refino para redução do teor de carbono, transformando o produto final em aço. Nessa rota, os principais insumos são o minério de ferro, carvão, calcário e sucata ferrosa. A Figura 105 mostra os principais processos de usinas integradas.

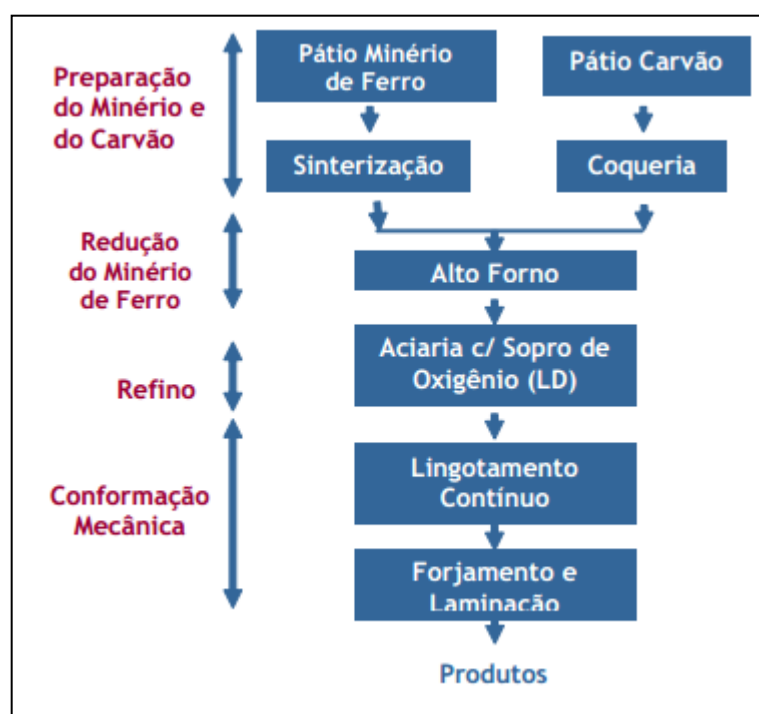


Figura 105: Fluxograma de processos de Usinas Integradas

Fonte: EPE (2009).

A produção via rota semi-integrada não possui a etapa de redução e normalmente é obtida através da reciclagem do aço em fornos elétrico a arco (EAF), tendo como principais insumos sucata e eletricidade. Esse tipo de rota depende diretamente da disponibilidade de sucata, que está correlacionada com o consumo de aço de cada país. A Figura 106 ilustra os processos realizados nas usinas semi-integradas.

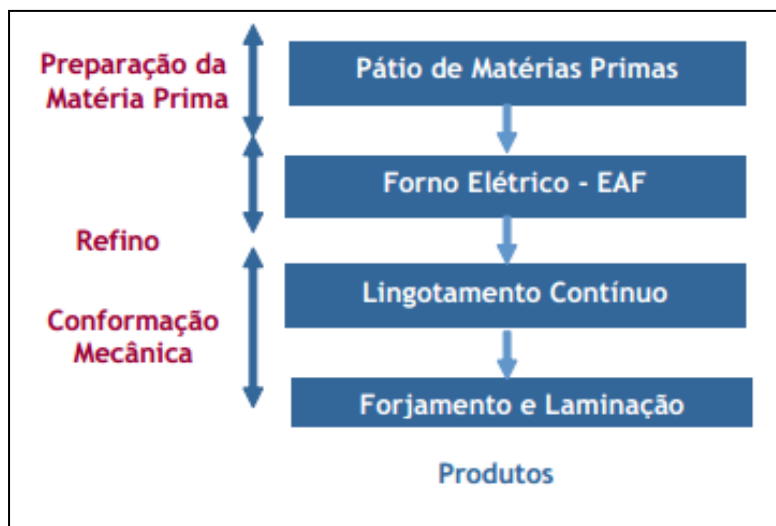


Figura 106: Fluxograma de processos de Usinas Semi-Integradas

Fonte: EPE (2009).

De acordo com o anuário estatístico do Instituto Aço Brasil (Instituto Aço Brasil, 2013), a participação das usinas integradas na produção do aço brasileiro é de 81% e, das usinas semi-integradas, 19%. A Tabela 52 detalha a produção por cada rota no ano de 2012.

Tabela 52: Produção Brasileira de Aço Bruto – 2012

Configuração Técnica das Usinas	Produção de Aço Bruto/10 ³ t
Integradas	28.152
Semi-Integradas	6.372
Total	34.524

Fonte: Instituto Aço Brasil (2013).

Ainda, existe a possibilidade de utilizar ferro esponja, ou DRI (*Direct Reduced Iron*), obtido pelo processo de redução direta, onde o minério de ferro é transformado em ferro metálico. Nesse processo o minério de ferro não passa pelo estado líquido, como ocorre com o ferro-gusa, o que dá ao ferro-espoja algumas desvantagens, como redução do rendimento. Entretanto, diversos avanços vêm sendo realizados nos processos que utilizam ferro-esponja e sua utilização é crescente no mundo. No Brasil, ela ainda é pouco significativa, estando limitada a apenas uma fábrica, que esteve paralisada recentemente por conta da baixa demanda. Deve-se ressaltar que, desde 2007, a indústria siderúrgica brasileira não opera com mais de 85% de sua capacidade. De uma utilização de 87% em 2007, o setor passou a uma taxa de utilização média de 71,3%, em 2012, chegando a menos de 70% em 2014 (Figura 107).

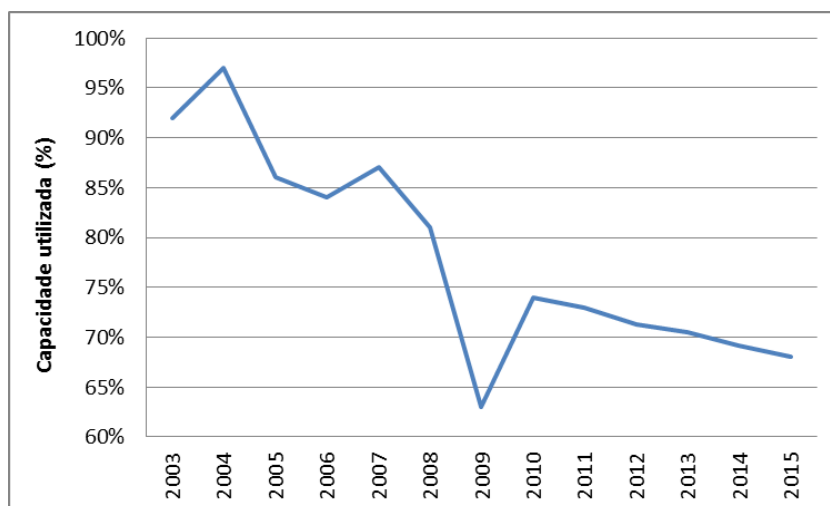


Figura 107: Utilização da Capacidade da Indústria Siderúrgica Brasileira

Fonte: Adaptado de Instituto Aço Brasil. (2013 e 2016).

O Instituto Aço Brasil separa a produção de aço em dois tipos básicos: aço carbono e aço liga (Instituto Aço Brasil, 2013). Do total da produção de aço no Brasil em 2012, 86% (equivalente a 29,7 milhões de toneladas) foram de aço carbono e 14% (equivalente a 4,8 milhões de toneladas) foram de aço liga.

Os produtos finais do setor de aço são bem diversificados, como placas, lingotes, bobinas, chapas, barras, tarugos e outros laminados, denominados como semi-acabados. Em 2012, a produção de semi-acabados foi de aproximadamente 7,5 milhões de toneladas, enquanto a produção de laminados sem acabamento foi de 25,7 milhões de toneladas, Tabela 53 e Tabela 54

Tabela 53: Produção nacional de Semi-Acabados para Vendas – 10³ t

Empresa	2010	2011	2012
Placas	4995	6750	6237
ArcelorMittal Tubarão	2560	1628	804
CSA	435	3168	3437
CSN	54	34	-
Gerdau	1179	1212	1097
Usiminas	767	708	899
Lingotes, Blocos e Tarugos	1339	1301	1233
ArcelorMittal Aços Longos	10	-	-
Gerdau	1257	1283	1214
Sinobras	2	1	-
V&M	0	8	1
Votorantim Siderurgia	70	9	18

Empresa	2010	2011	2012
TOTAL	6334	8051	7470

Fonte: Instituto Aço Brasil (2013).

Tabela 54: Produção Nacional de Laminados – 10³ t

Empresa	2010	2011	2012
Produtos Planos	15212	14265	14897
Aços Carbono	14614	13682	14347
Aperam	79	73	73
ArcelorMittal Tubarão	3620	3510	3430
CSN	4653	4665	4704
Usiminas	6262	5434	6140
Aços Ligados	598	583	550
Aperam	598	583	550
Produtos Longos	10238	10975	10799
Aço Carbono	9391	10116	10060
ArcelorMittal Aços Longos	3300	3411	3404
Gerdau	4648	5140	4889
Sinobras	238	237	287
V&M	283	266	245
VSB	-	17	144
Villares Metais	6	8	7
Votorantim Siderurgia	916	1037	1084
Aços Ligados	847	859	740
Gerdau	578	586	473
V&M	201	200	203
Villares Metais	68	73	64
TOTAL	50900	50480	51393

Fonte: Instituto Aço Brasil (2013).

A Tabela 55 divide a produção nacional de aço bruto de acordo com o processo de aciaria utilizado.

Tabela 55: Produção de Aço Bruto por Processo de Aciaria – 2012

Processo de Aciaria	10 ³ t	Participação/(%)
Oxigênio (LD)/BOF	25.962	75,2

Processo de Aciaria	10 ³ t	Participação/(%)
Elétrico	8.094	23,4
EOF	468	1,4
Total	34.524	100

Fonte: Instituto Aço Brasil (2013).

A comparação da Tabela 52 com a Tabela 55 evidencia que a produção em usinas integradas é superior à produção utilizando o processo LD a oxigênio. Essa discrepância indica que existem fornos a arco instalados em usinas integradas. Portanto, foi necessário analisar as usinas que possuem fornos elétricos a arco instalados e verificar se parte delas está classificada como usina integrada.

Em 2008 existia no Brasil uma capacidade instalada total de 11,8 milhões de toneladas de aço por ano em fornos elétricos a arco, distribuídos entre 6 grupos de empresas: Gerdau, Arcelor Mittal, Votorantim, Sinobras, CSN e Villares Metais (CGEE, 2008). A Tabela 56 mostra os fornos elétricos a arco instalado no Brasil no ano de 2008, sua localização e sua capacidade nominal de produção (CGEE, 2008). Nela estão marcadas em negrito as unidades que são classificadas pelo Instituto Aço Brasil como usinas integradas. São elas:

- Gerdau (antiga Usiba, utiliza DRI – EAF)
- Arcelor Mittal Inox do Brasil (Aperam)
- Sinobrás Marabá
- CSN

Dessa forma, pôde-se confirmar que existem fornos elétricos a arco instalados nessas usinas integradas, indicando que parte de sua produção é proveniente de uma configuração diferente daquela onde a usina foi classificada.

Tabela 56: Fornos Elétricos a Arco Instalados no Brasil em 2008

Grupo	Localização	Capacidade Nominal em 2008 (10 ³ t/ano)
Gerdau	Cearense	140
Gerdau	Açonorte	350
Gerdau	Usiba	600
Gerdau	Cosígua	1100
Gerdau	Pindamonhangaba	800
Gerdau	Vilares Mogi	500
Gerdau	São Paulo	900
Gerdau	Guaíra	500

Grupo	Localização	Capacidade Nominal em 2008 (10 ³ t/ano)
Gerdau	Riograndense	500
Gerdau	Piratini	500
ArcelorMittal	Juiz de Fora	1100
ArcelorMittal	Cariacica	600
ArcelorMittal	Piracicaba	1100
ArcelorMittal	Inox do Brasil (Asperam)	400
Votorantim	Barra Mansa	700
Votorantim	Rezende	1000
Sinobras	Marabá	400
CSN	Volta Redonda	500
Villares Metais	Sumaré	120

Fonte: CGEE (2008).

3.4.2 GRAU DE CONCENTRAÇÃO

De acordo com dados de IBGE (2014), em termos de pessoal ocupado, o setor *Ferro e Aço* representa cerca de 30%, com mais de 270 mil pessoas, do setor da indústria de transformação. Conforme a Figura 108, o setor representa 23% dos setores industriais selecionados do estudo, de modo que se destacam o segmento *Siderurgia* com 23% do total de pessoas ocupadas, seguido de *Extração de minério de ferro* com 26%, *Fundição* com 16%, *Produção de tubos de aço, exceto tubos sem costura* com 11% e *Produção de ferro-gusa e de ferroligas* com 10%.

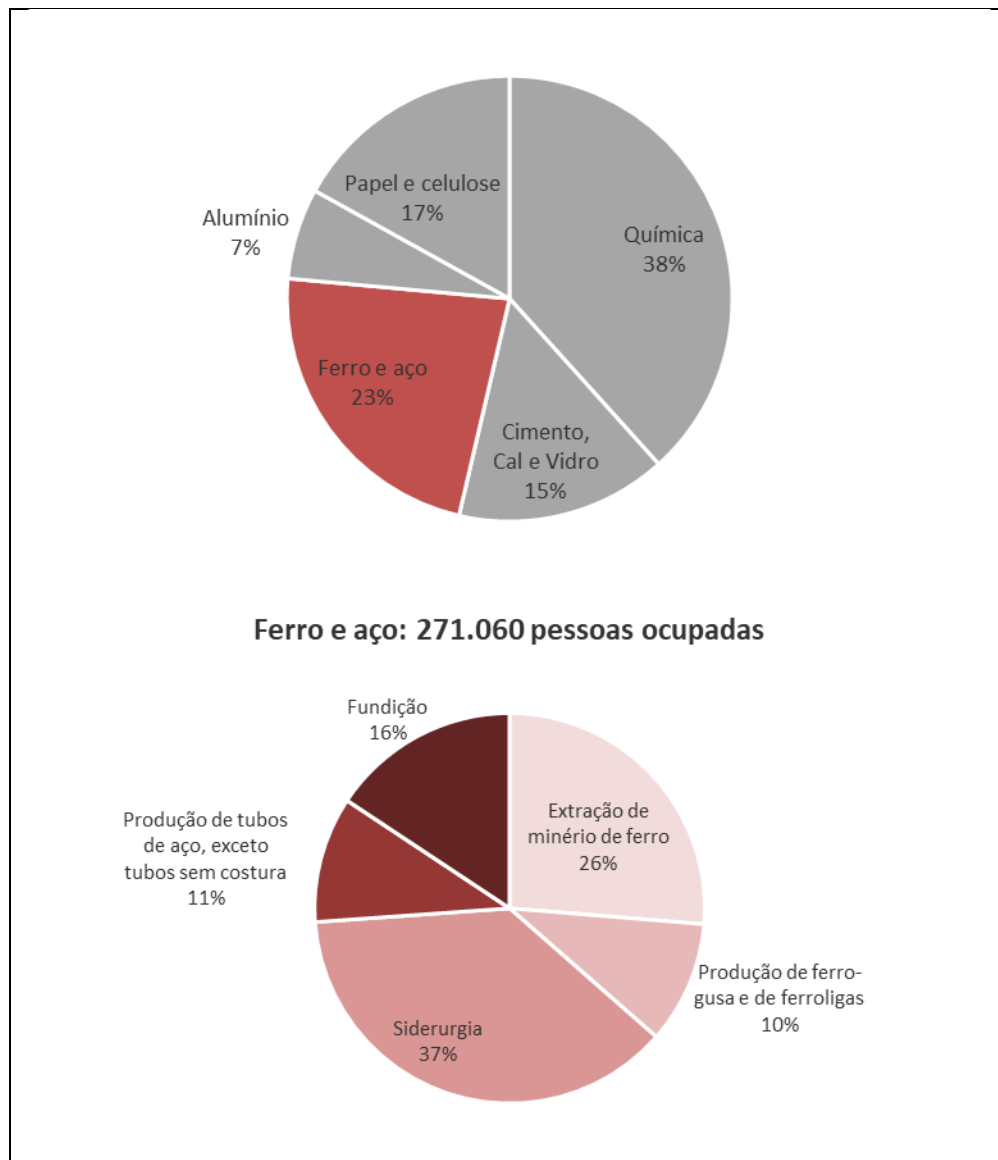


Figura 108: Coeficiente de Pessoal Ocupado para Ferro e Aço, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

O índice de Razão de Concentração (CR) é utilizado para determinar a participação de grandes empresas no mercado. Seu resultado deve variar entre 0 (zero) e 100 (cem), onde “0” representa uma situação de concorrência perfeita e “100” indica uma condição de concentração intensa. De acordo com os dados de IBGE (2014), os quais estimam os índices de concentração econômica a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas⁵², os índices CR do setor Ferro e Aço são superiores às médias dos setores industriais selecionados do estudo. A partir de uma análise mais detalhada das empresas

⁵² Vale ressaltar que em termos de capacidade instalada o índice CR tende a ser superior ao estimado via pessoal ocupado, tendo em vista a convivência de grandes e microempresas.

dentro de cada segmento/produto do setor é possível observar ainda maiores graus de concentração. Conforme é possível observar na Figura 109, o segmento Extração de minério de ferro, que apresentou um total de 200 empresas em 2014, apresentou um dos maiores índices CR dentre os setores selecionados do estudo, chegando a 93,8 (CR12); outro importante segmento Siderurgia também apresentou alto grau de concentração chegando 79,1 (CR12), a partir de um total de 473 empresas em 2014. Estes índices de concentração são esperados para um setor que opera com recursos naturais e larga escala de produção.

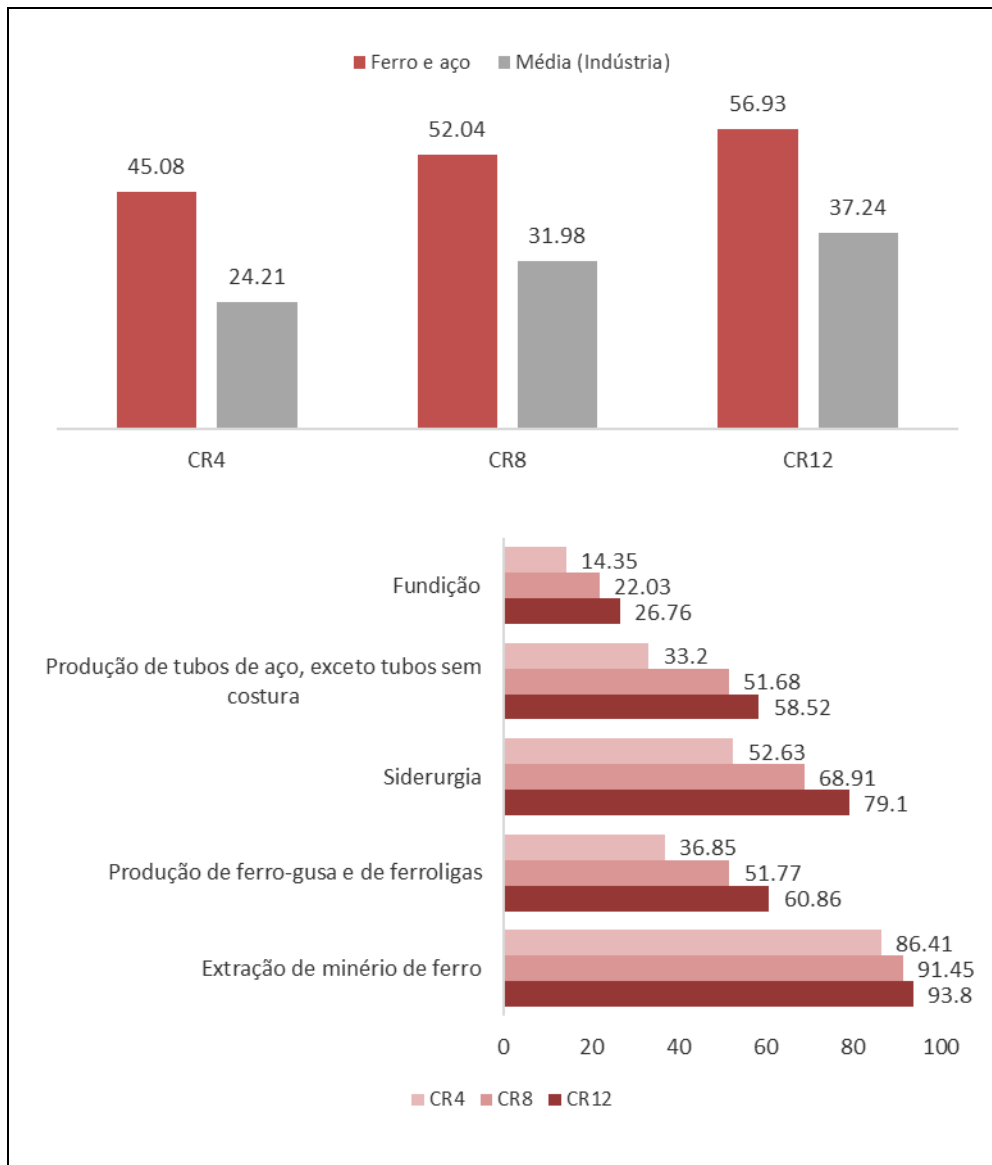


Figura 109: Índices de Razão de Concentração* para Ferro e Aço, 2014

Fonte: IBGE (2014).

* índices de concentração econômica estimados a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas. A média da indústria inclui apenas os setores selecionados neste estudo.

Ainda a partir dos dados de IBGE (2014), foi possível construir gráficos que relacionam o número de empresas com a quantidade de pessoal ocupado para cada segmento dos setores industriais

selecionados do estudo. De acordo com o nível de desagregação dos dados, não foi possível diferenciar o gráfico do setor *Ferro e aço* com o setor *Alumínio*. Nesse caso, conforme a Figura 110, podemos observar a predominância de pessoal ocupado na *Extração de minerais metálicos* em relação a *Metalurgia*. É interessante notar que o número de empresas para *Metalurgia* é bastante superior a *Extração de minerais metálicos*, que apresenta um número bastante inferior de pessoas ocupadas na maioria das empresas do segmento (predominantemente de 0 a 4 pessoas empregadas).

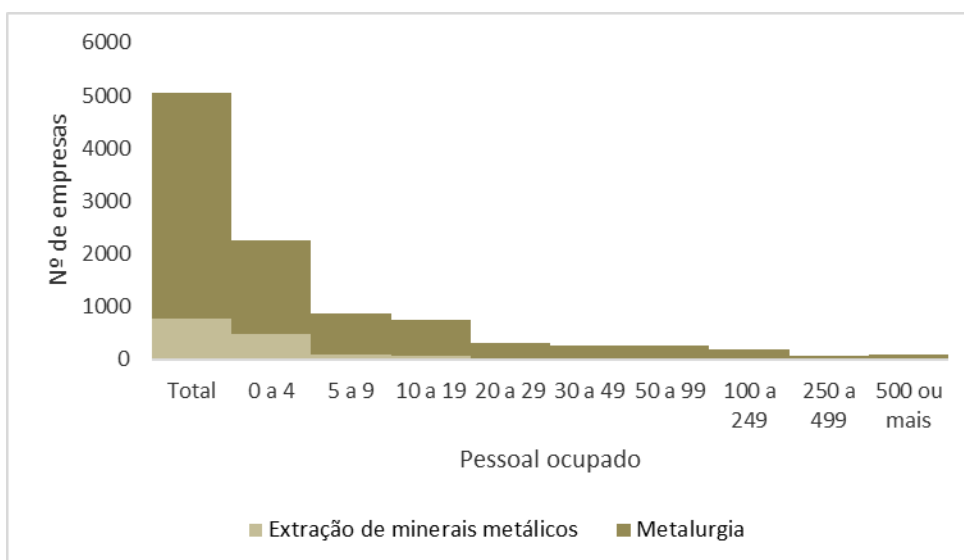


Figura 110: Número de empresas x Pessoal ocupado para Minerais Metálicos, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

De acordo com dados específicos da indústria do aço oriundos do Instituto Aço Brasil (2013), existem 11 companhias produtoras de aço no país, com capacidade instalada de aproximadamente 48 milhões de toneladas/ano, divididas num total de 29 usinas, 14 integradas e 15 semi-integradas (CNI, 2012). A Tabela 57 mostra a produção de aço bruto nacional dividida entre as empresas atuantes no mercado, enquanto a Tabela 58 mostra a capacidade instalada das empresas atuantes no setor.

Percebe-se a grande participação da Gerdau, responsável por 23,7% da produção do ano de 2012, seguida pelo grupo Arcelor Mittal, que totaliza 22,6% da produção e Usiminas, com 20,7%.

Tabela 57: Produção Nacional de Aço Bruto por Empresa – 10³ T

Empresa	2008	2009	2010	2011	2012	% em 2012
Aperam	770	607	771	739	728	2,1%
Arcelor Mittal Aços Longos	3.502	3.171	3.394	3.538	3.423	9,9%
Arcelor Mittal Tubarão	6.177	5.334	5.956	5.405	4.390	12,7%
CSA	-	-	478	3.147	3.510	10,2%
CSN	4.985	4.375	4.902	4.874	4.874	14,1%

Empresa	2008	2009	2010	2011	2012	% em 2012
Gerdau	8.711	6.105	8.177	8.777	8.181	23,7%
Sinobras	42	181	239	243	319	0,9%
Usiminas	8.022	5.637	7.298	6.698	7.157	20,7%
V&M do Brasil	655	387	573	537	511	1,5%
VSB	-	-	-	39	192	0,6%
Villares Metals	140	92	119	137	121	0,4%
Votorantim Siderurgia	712	617	1.041	1.086	1.145	3,3%
Total	33.716	26.506	32.948	35.220	34.524	100,0%

Fonte: Adaptado de Instituto Aço Brasil (2013).

Tabela 58: Capacidade Instalada das Siderúrgicas Brasileiras em 2012

Empresa	Capacidade (2012) 10 ³ t
Aperam	870
ArcelorMittal Aços Longos	3.970
ArcelorMittal Tubarão/Vega	7.740
Grupo CSN	5.750
Gerdau Açominas + Aços Longos	9.970
Gerdau Aços Especiais + Aços Villares	1.425
Grupo Usiminas	9.454
V&M do Brasil	700
Villares Metals	100
Votorantim Siderurgia	1.790
Sinobras	300
ThyssenKrupp CSA	5.200
VSB	1.050
Total	48.319

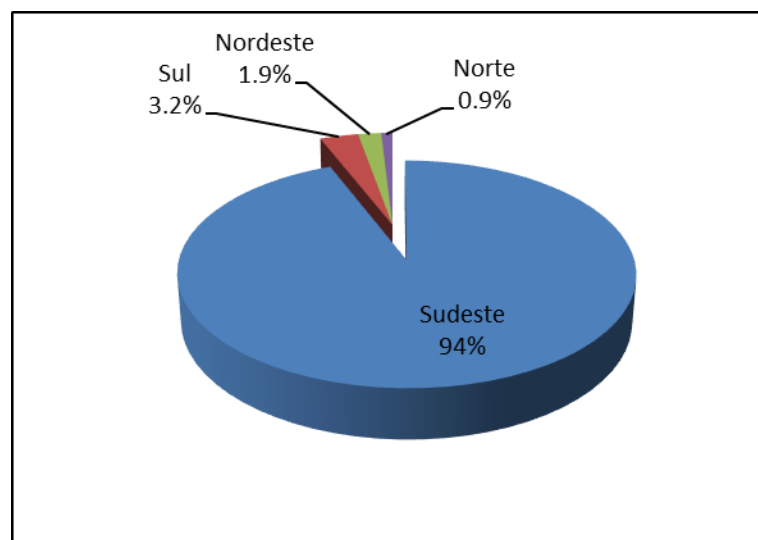
Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

A distribuição regional da produção de aço no Brasil evidencia uma grande concentração no Sudeste, que somou significativos 94% da produção no ano de 2012, sendo Minas Gerais o principal estado produtor, com 34,1% da produção nacional naquele ano.

Tabela 59: Distribuição Regional de Produção de Aço Bruto em 2012

Estado	10 ³ t	Participação (%)
Minas Gerais	11.780	34,1
Rio de Janeiro	10.261	29,7
São Paulo	5.607	16,3
Espírito Santo	4.809	13,9
Rio Grande do Sul	776	2,3
Pará	319	0,9
Paraná	314	0,9
Bahia	287	0,8
Pernambuco	228	0,7
Ceará	143	0,4
Brasil	34.524	100

Fonte: Instituto Aço Brasil (2013).

**Figura 111: Distribuição Regional da Produção de Aço Brasileira**

Fonte: Instituto Aço Brasil (2013)

A seguir, no Quadro 4, são apresentadas as unidades siderúrgicas do Brasil, divididas de acordo com o tipo de usina e o produto gerado.

Quadro 4: Usinas Siderúrgicas Brasileiras - Produtos, Localização e Tipo

Tipo de Usina	Produto	Usina e Localização
Usinas Integradas	Laminados Planos	Aperan South America (Timóteo - MG)

Tipo de Usina	Produto	Usina e Localização
		Arcelor Mittal Tubarão (Tubarão - ES)*
		CSN (Volta Redonda - RJ)*
		Usiminas (Ipatinga - MG)*
		Usiminas (Cubatão - SP)*
		ThussenKrupp CSA (Rio de Janeiro - RJ)
	Laminados Longos	Arcelor Mittal Aços Longos (Monleva - MG)
		Arcelor Mittal Aços Longos (Juiz de Fora - MG)
		Gerdau Açominas (Ouro Branco - MG)*
		Gerdau Aços Longos (Barão de Cocais - MG)
		Gerdau Aços Longos (Divinópolis - MG)
		Gerdau Aços Longos Usiba (Simões Filho - BA) ⁵³
		Sinobras (Marabá - PA)
		V&M do Brasil (Belo Horizonte - MG)
		VSF (Jaceaba - MG)
Usinas Semi Integradas	Aços Longos	Votorantim Siderurgia (Barra Mansa - RJ)
		Votorantim Siderurgia (Resende - RJ)
		Arcelor Mittal Aços Longos (Grande Vitória - ES)
		Arcelor Mittal Aços Longos (Piracicaba - SP)
		Gerdau Aços Longos Aço Norte (Recife - PE)

⁵³ A unidade da Gerdau Usiba utiliza processo de redução direta (DRI) para produção de ferro-esponja. Sendo o único caso no cenário nacional.

* Unidades 100% integradas, ou seja, utilizam coque próprio.

Tipo de Usina	Produto	Usina e Localização
		Gerdau Aços Longos (Cearense - CE)
		Gerdau Aços Longos (Cosigua - RJ)
		Gerdau Aços Longos (Guaíra - PR)
		Gerdau Aços Longos (São Paulo - SP)
		Gerdau Aços Longos (Rio Grandense - RS)
		Gerdau Aços Especiais (Piratini - RS)
		Gerdau Aços Especiais (Pindamonhangaba - SP)
		Gerdau Aços Especiais (Mogi das Cruzes - SP)
		Villares Metals (Sumaré - SP)

Fonte: Apartir de Instituto Aço Brasil (2013).

Existem no país cinco estados produtores de ferro-gusa, são eles: Minas Gerais, Maranhão e Pará (Carajás), Espírito Santo e Mato Grosso do Sul. Estando a produção deles detalhada na Tabela 60. Os produtores independentes de Ferro-Gusa destinam sua produção para comercialização, não sendo, portanto, um produto intermediário de seu processo produtivo.

Tabela 60: Produção Independente de Ferro-Gusa no Brasil

ANO	MG	%	CARAJÁS ⁵⁴	%	ES	%	MS	%	TOTAL
2000	4.039.932	65,7	1.652.000	27	372.925	6,1	80.520	1,3	6.145.377
2001	4.005.548	61,5	2.021.500	31	387.185	5,9	96.000	1,5	6.510.233
2002	4.043.163	59,8	2.245.000	33	375.727	5,6	96.000	1,4	6.759.890
2003	5.193.060	64,1	2.364.500	29	450.304	5,5	96.000	1,2	8.103.864
2004	6.302.964	62,5	3.102.750	30,7	499.358	5	180.000	1,8	10.085.170
2005	5.797.999	59,3	3.228.287	33	505.795	5,2	241.653	2,5	9.773.832
2006	5.353.664	56,5	3.452.400	36,5	376.755	4	282.800	3	9.465.716
2007	5.042.637	52,4	3.927.800	40,8	350.521	3,6	307.100	3,2	9.628.058
2008	4.303.302	50,3	3.543.718	41,4	280.865	3,3	424.500	5	8.552.385

⁵⁴ Aqui se incluem os estados do Maranhão e do Pará.

ANO	MG	%	CARAJÁS ⁵⁴	%	ES	%	MS	%	TOTAL
2009	2.380.600	54	1.710.000	38,8	-	1,4	253.500	5,8	4.344.100
2010	2.904.187	57,8	1.661.333	33	198.700	4	263.167	5,2	5.027.387
2011	2.998.000	51,5	2.019.004	34,7	357.000	6,1	450.000	7,7	5.824.004
2012	2.738.437	49,4	2.058.146	37,1	260.227	4,7	491.241	8,8	5.548.051
2013	2.924.957	54,6	1.763.104	33	195.988	3,7	468.025	8,7	5.352.074

Fonte: SINDIFER (2013).

Em 2007 foram contabilizadas 81 empresas produtoras independentes de ferro-gusa no mercado brasileiro (SINDIFER, 2009), com capacidade de produção de cerca de 14,2 milhões de toneladas de ferro-gusa por ano, distribuídas em 41 municípios, sendo 62 delas localizadas apenas no estado de Minas Gerais.

O Brasil é o principal produtor de ferro-gusa utilizando carvão vegetal do mundo. Estima-se que cerca de 2.9 milhões de toneladas de ferro gusa foram produzidos a partir de carvão vegetal, em 2013 (SINDIFER, 2009), representando cerca de 54% do ferro-gusa produzido em usinas de produtores independentes, ou ainda, cerca de 9% da produção total de ferro-gusa no Brasil.

3.4.3 INDICADORES DE ENCADEAMENTO INTERSETORIAL E EFEITO MULTIPLICADOR

A partir de dados da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), foram obtidos os índices de ligação Rasmussen-Hirschman (RH). De acordo com o critério de MCGILVRAY (1977), se os setores apresentarem índices de ligação para frente (que expressa o quanto um setor é demandado pelos outros), e/ou para trás (que mostra o quanto um setor demanda dos outros) maiores do que 1 podem ser classificados no conceito restrito como setores-chave. Este é o caso da maioria dos setores industriais do Brasil, os quais demonstram alto poder de encadeamento com atividades tanto à jusante, as quais demandam matérias-primas para a elaboração de produtos com maior valor adicionado, quanto à montante da economia.

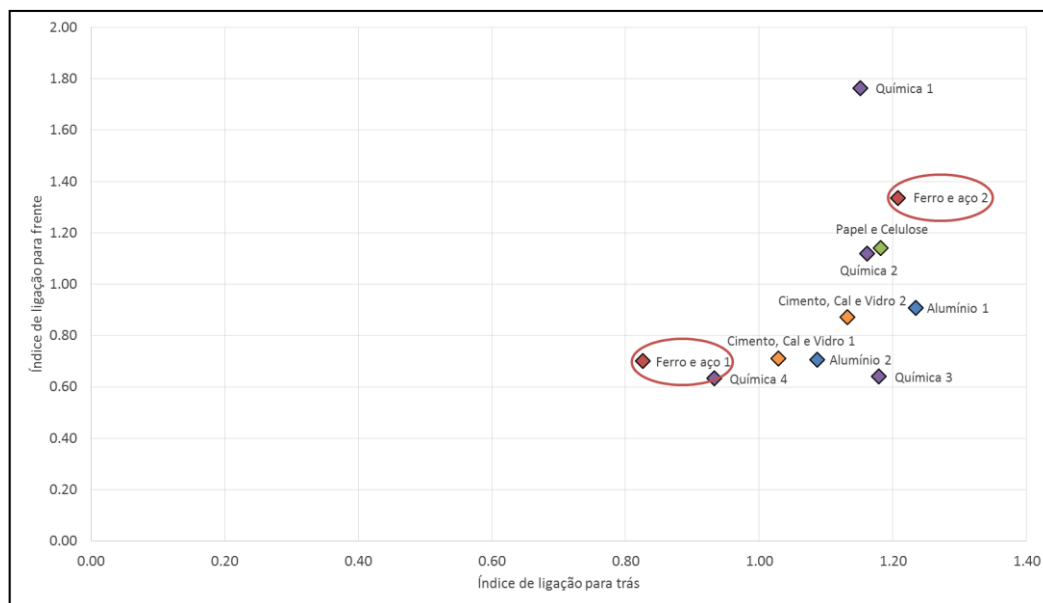


Figura 112: Índices de ligação Rasmussen-Hirschman para Ferro e Aço, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Conforme a Figura 112, observa-se que os segmentos *Ferro e Aço 1* e *2*, os quais representam, respectivamente, a *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* e *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura*, apresentam índices de ligação com diferentes interpretações. O segmento *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (*Ferro e Aço 2*) é um setor chave da indústria nacional, apresentando índices de ligação para trás e para frente superiores a unidade (1,21 e 1,33, respectivamente), de modo que é demandado pelos demais segmentos e setores da economia e um aumento do nível de suas atividades gera aumento acima da média na demanda por insumos de outros setores. Contudo, o segmento *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (*Ferro e Aço 1*) apresenta índices de ligação para trás e para frente inferiores a unidade, o que indica um fraco poder de encadeamento com as demais atividades, característico de setor com base em recursos naturais e exportador, muito embora tenha um papel relevante na geração de valor na economia nacional.

A análise da estrutura econômico-produtiva dos segmentos industriais nacionais também foi realizada através da obtenção dos multiplicadores setoriais (tipo II): de renda, de produção, de emprego e tributário. Em 2010, o multiplicador de renda médio da economia foi de 3,94 e o setor *Ferro e Aço* apresentou multiplicadores de renda superiores à média, conforme Figura 113. Para cada aumento de R\$ 1 milhão na remuneração de *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (*Ferro e Aço 1*) seriam gerados R\$ 4,60 milhões de remuneração em toda a economia, considerando efeitos diretos, indiretos e induzidos. Para *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (*Ferro e Aço 2*) seriam gerados R\$ 5,79 milhões de remuneração em toda a economia. Em termos de produção, ainda na Figura 113, é necessário um total de R\$ 2,57 milhões e R\$ 4,17 milhões para satisfazer cada R\$ 1 milhão de demanda final das atividades *Extração de minério*

de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração (Ferro e Aço 1) e Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura (Ferro e Aço 2), respectivamente.

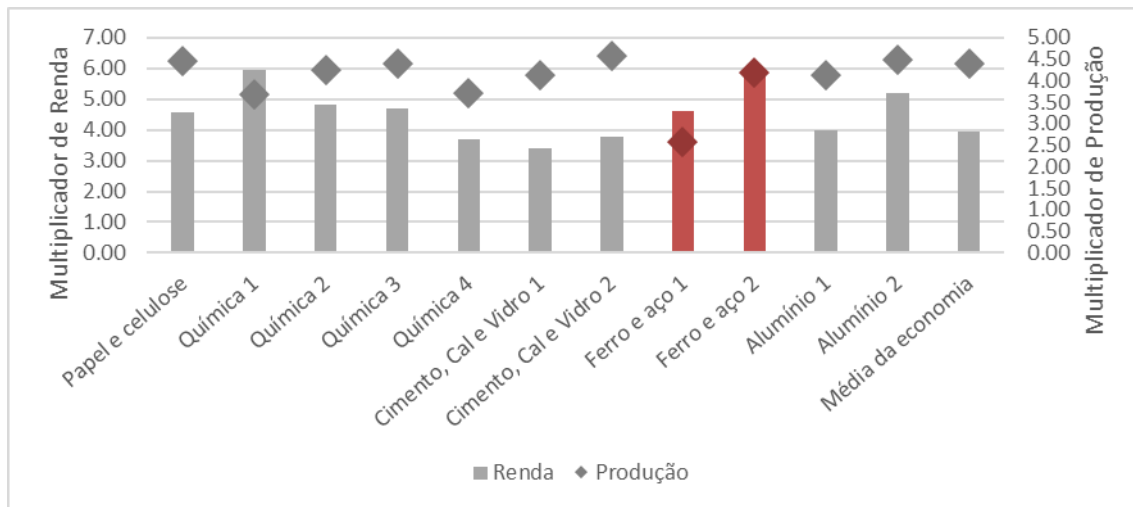


Figura 113: Multiplicadores de renda e de produção para Ferro e Aço, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

No que tange aos multiplicadores de emprego e tributário, é possível observar na Figura 114 os resultados do setor *Ferro e Aço* em 2010. O multiplicador de emprego médio da economia dos setores industriais selecionados do estudo foi de 11,28 e o setor de *Ferro e Aço* apresentou multiplicadores de emprego bem superiores à média. Para cada aumento de 1 emprego na *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (Ferro e Aço 1) seriam geradas 26,51 novas ocupações em toda a economia, considerando efeitos diretos, indiretos e induzidos. Para *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (Ferro e Aço 2) seriam gerados 22,56 empregos em toda a economia. Em termos de tributos, ainda na Figura 114, o setor *Ferro e Aço* apresentaram os seguintes multiplicadores: para cada aumento de R\$ 1 nos tributos de *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (Ferro e Aço 1) seriam gerados R\$ 2,59 de receita de impostos, líquidos de subsídios, sobre a produção e a importação em toda a economia, enquanto que para *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (Ferro e Aço 2) R\$ 3,99.

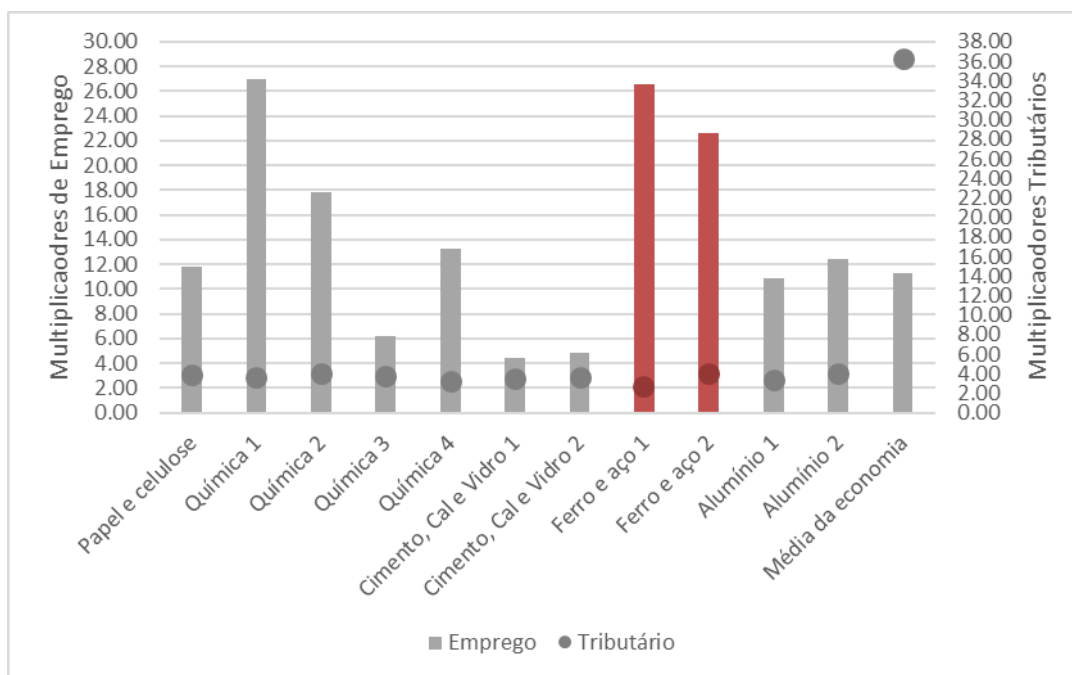


Figura 114: Multiplicadores de emprego e tributários para Ferro e Aço, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

3.4.4 VULNERABILIDADE EXTERNA

A indústria do aço foi responsável, em 2010, por 4,8% do valor total da produção econômica nacional (CNI, 2012). Mesmo atendendo principalmente a demanda interna, o excedente produtivo representa um volume importante das exportações brasileiras, tendo a balança comercial do setor apresentado um saldo de US\$ 3,78 bilhões em 2012 (Instituto Aço Brasil, 2013).

Com o mercado global ainda apresentando excesso de produção, as exportações da indústria do aço brasileira, em 2013, totalizaram 8,1 milhões de toneladas, perfazendo 5,6 bilhões de dólares. Isso representou uma queda de 16,8% em volume e de 20,0% em valor, quando comparados aos dados de 2012. Problemas de gargalos na logística e elevada carga de impostos continuam influenciando na competitividade do aço brasileiro. O principal mercado comprador de produtos siderúrgicos brasileiros continua sendo os Estados Unidos (Instituto Aço Brasil, 2013).

Em 2013 foram importadas 3,7 milhões de toneladas de produtos siderúrgicos, o que significou uma redução de 2,1% em relação a 2012. As importações vêm principalmente da China, com constante crescimento. Em 13 anos a participação das importações da China aumentou em 36,4 pontos percentuais. Além disso, o Brasil perdeu mercado para este país na América Latina, o que indica uma crescente vulnerabilidade externa deste setor.

Segundo o conceito do coeficiente de exportações na estrutura de produção, que pode ser obtida através da relação entre a exportação e a produção total para cada um dos setores da economia, uma

participação maior do que 20% das exportações, por unidade de produção, indica que o setor é voltado para o mercado externo, logo vulnerável ao comércio internacional (WWF, 2017). Nesse sentido, em 2010, os setores *Ferro e aço* e *Alumínio* apareciam como os mais vulneráveis à perda de competitividade no comércio internacional, perante países com vantagens comparativas. Conforme a Figura 115, em 2010, *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (Ferro e Aço 1) foi o segmento mais vulnerável dentre os segmentos dos setores selecionados do estudo, com 89% de exportações por unidade de produção; já *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (Ferro e Aço 2) apresentou uma participação de 18% referente a exportações.

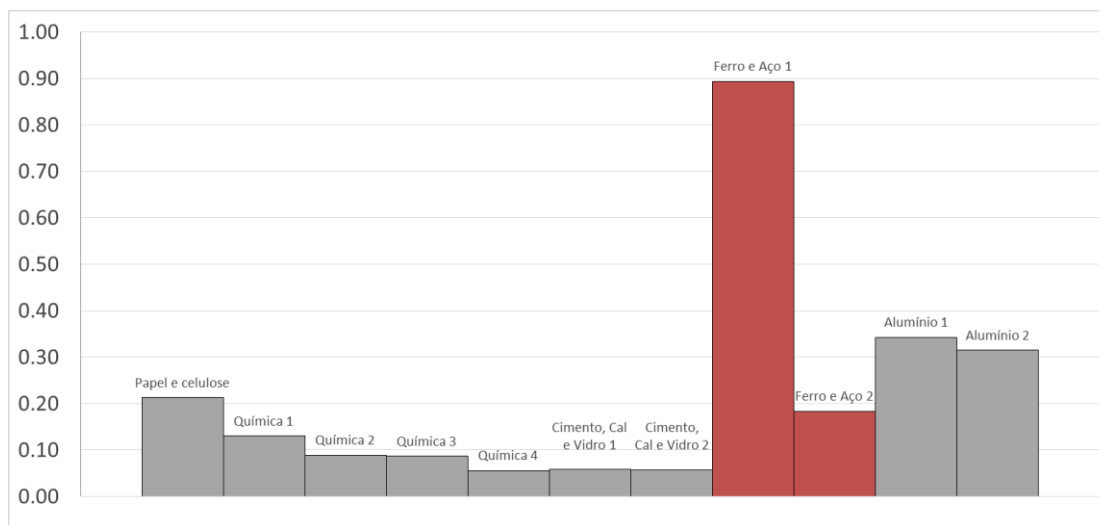


Figura 115: Coeficiente de Exportação para Ferro e Aço, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O coeficiente de penetração das importações é a parcela da oferta interna atendida pelas importações. No Brasil, é possível observar que os produtos do setor *Ferro e Aço* apresentaram, em 2010, coeficientes de penetração de importação abaixo da média dos setores industriais selecionados do estudo (14%). Conforme a Figura 116, os segmentos *Minério de ferro* e *Ferro-gusa e ferroligas* apresentaram baixos coeficientes de penetração de importação, 4,0% e 4,5%, respectivamente, se classificando entre os menores dos segmentos e setores selecionados do estudo; já o segmento *Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço* apresenta um coeficiente de penetração cerca de 12%, próximo da média dos setores selecionados do estudo.



Figura 116: Coeficiente de penetração das importações de Ferro e Aço, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Pode-se observar, portanto, que a indústria brasileira de ferro e aço segue a tendência histórica de exportar matérias-primas brutas, tais como minério de ferro, ferro-gusa e ferroligas, e importar produtos com maior valor adicionado, tais como semi-acabados e tubos de aço. Tal inserção internacional, associada ao excedente global de produção siderúrgica, reforçam a vulnerabilidade externa da siderurgia brasileira.

3.4.5 REFERÊNCIAS

CGEE. (2008). TR 24: Aciaria Elétrica - Situação Atual e Tendências de 2025. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.

CNI. (2012). A Indústria do Aço no Brasil - Encontro da Indústria para a Sustentabilidade. Brasília: Confederação Nacional da Indústria.

EPE. (2009). Nota Técnica DEA 02/09 - Caracterização do uso da Energia no Setor Siderúrgico Brasileiro. Rio de Janeiro.

IBGE, 2014. Cadastro Central de Empresas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/cempre/quadros/brasil/2014>

IBGE, 2015. Matriz insumo-produto: Brasil 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/matrizinsumo_produto/2010/default.shtm

Instituto Aço Brasil, 2013. Anuário Estatístico. Rio de Janeiro.

_____, 2013b. Relatório de Sustentabilidade. Acesso em 14 de Julho de 2014, disponível em IABr: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/publicacoes.asp>

_____, 2017. Relatório de Sustentabilidade 2016. Acesso em 04 de Setembro de 2017, disponível em IABr: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/publicacoes.asp>

GUILHOTO, J. J. M., 1994, “Índices de ligações e setores-chave na economia brasileira: 1959/80”, Pesquisa e Planejamento Econômico, v. 24, pp. 287-314.

KUPFER, D.; HASENCLEVER, L.; ANTUNES, A. (2006) Nota técnica: setor químico, estudos prospectivos setoriais temáticos: módulo 4, estudo da dimensão territorial do PPA. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

MCGILVRAY, J., 1977, Linkages, key sectors and development strategy. In.: Leontief, W. (Ed.). Structure, system and economic policy. Cambridge: University Press.

MCTI. (2015). TERCEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. (s.d.). Acesso em 17 de Julho de 2014, disponível em DADOS CONSOLIDADOS DA SIDERURGIA BRASILEIRA EM 2012: http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1380735604.pdf

SINDIFER. (2009). Anuário. Belo Horizonte: Sindicato das Indústrias de Ferro do Estado de Minas Gerais.

SINDIFER. (2013). Anuário. Belo Horizonte: Sindicato da Indústria de Ferro do Estado de Minas Gerais.

VARGAS, M.A. (2009) Projeto perspectivas do investimento no Brasil. Bloco: Economia do conhecimento, Sistema produtivo: Complexo industrial da saúde. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE.

WWF, 2017. Medidas Baseadas no Mercado no Transporte Marítimo das Exportações Brasileiras. WWF-Brasil, Brasília, abril de 2017.

3.5 ALUMÍNIO

No presente item, tratar-se-á do setor de alumínio, indicando suas características gerais (VBP – valor bruto de produção, VA - valor adicionado, produção, vendas e desagregação do setor), seu grau de concentração (coeficiente de pessoal ocupado, índice de razão de concentração, número de empresas, maiores produtores etc), seus indicadores de encadeamento (índices de ligação Rasmussen-Hirschman e multiplicadores de renda e emprego) e sua caracterização do comércio internacional (balança comercial, destino das exportações e coeficientes de exportações e importações). Para o detalhamento do estudo, foram utilizadas referências como a ABAL (Associação Brasileira do Alumínio), o Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos (MME, 2017), o Sumário Mineral (DNPM, 2017), que, assim como o Anuário Estatístico, tem dados sumarizados do setor de alumínio, entre outros produtos de origem mineral, e o U.S. Geological Survey (USGS, 2017).

3.5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

A cadeia primária do alumínio é formada pelas seguintes etapas: mineração de bauxita (minério rico em alumínio); refino da bauxita (etapa na qual se produz a alumina) e redução da alumina (etapa na qual se produz o alumínio primário). A partir do alumínio primário é possível fazer as transformações necessárias para o seu uso final por diversas indústrias, como, por exemplo, as de construção civil e transportes, conforme mostrado na Figura 117 (ABAL, 2017b).

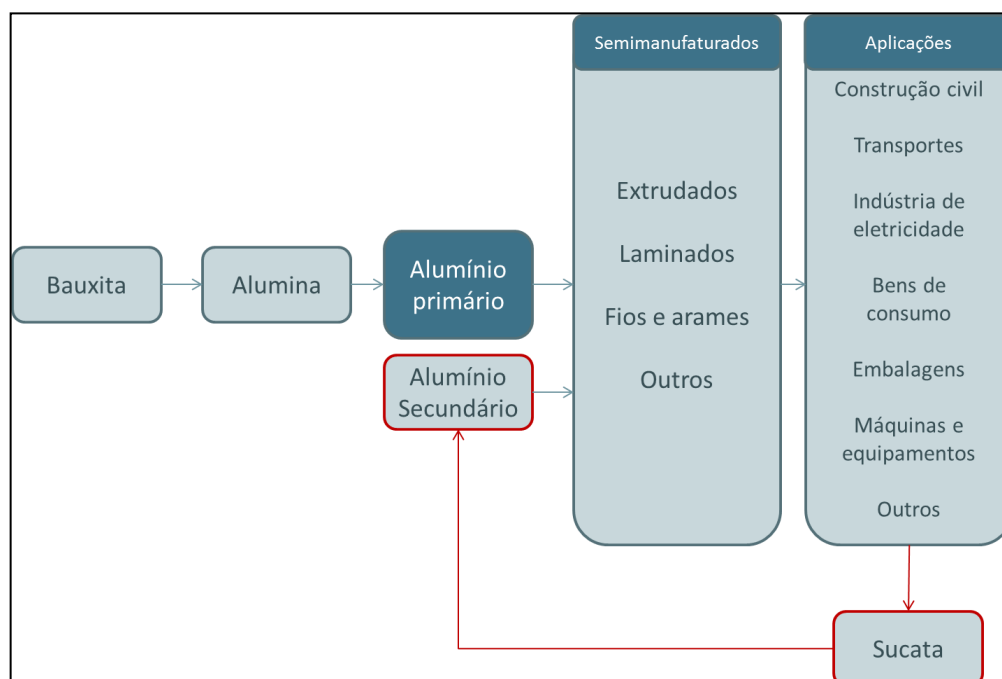


Figura 117: Cadeia de produção do alumínio

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI (2012).

A partir dos dados da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015) foi possível identificar a importância dos segmentos do setor industrial. Em termos de valor bruto da produção (VBP) - que corresponde a soma de todos os bens e serviços produzidos, tanto produtos finais quanto insumos usados na produção -, é possível observar que o setor *Alumínio*, cujo VBP foi de R\$ 47 milhões, representou menos de 1% VBP nacional em 2010 (0,7%). Este setor representou 2,4% do VBP da indústria de transformação, destacando-se *Metalurgia de minerais não-ferrosos e fundição de metais* com cerca de 2% em 2010, conforme pode ser visualizado na Figura 118.

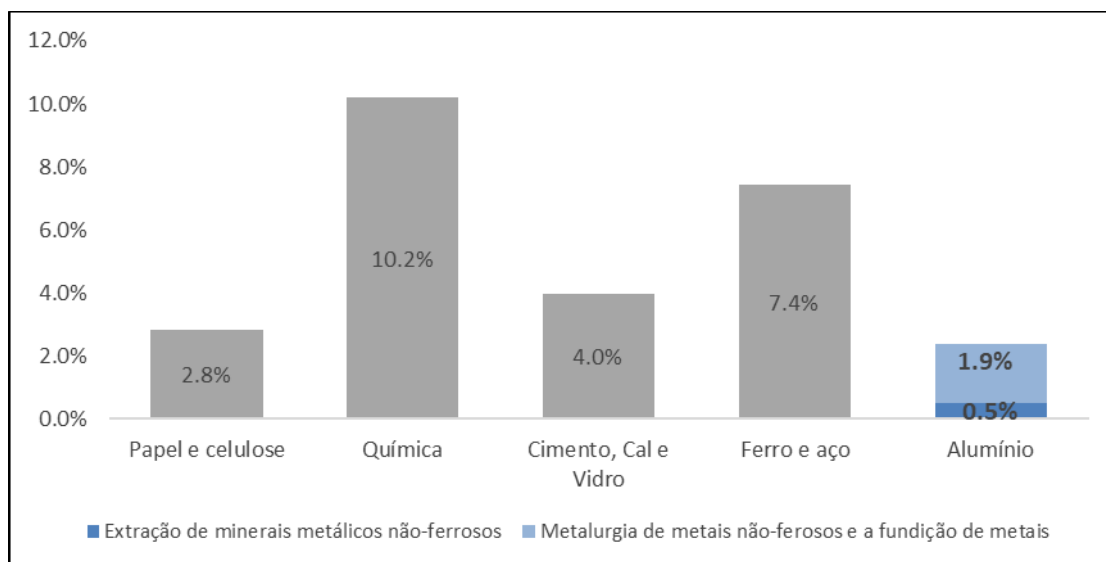


Figura 118: Participação do VBP do setor Alumínio na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Relacionando com os demais setores do estudo, isto é, *Papel e Celulose*, *Química*, *Cimento, Cal e Vidro* e *Ferro e aço*, é possível observar que o setor *Alumínio* representa 9% do somatório do VBP de todos os setores selecionados, conforme Figura 119. No que tange a geração de valor, o segmento *Metalurgia de minerais não-ferrosos e fundição de metais* representa cerca de 7% enquanto que *Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos* 2%.

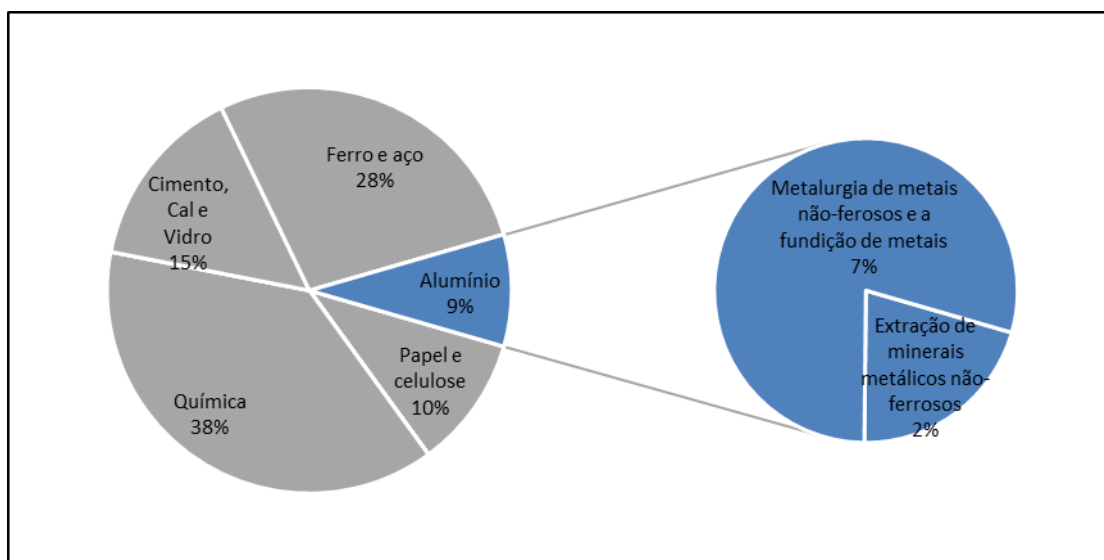


Figura 119: VBP do setor Alumínio x VBP dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Em termos de valor adicionado (VA), o setor *Alumínio* alcançou cerca de R\$ 10 milhões em 2010, representando menos de 1% do PIB nacional (0,3%). Dentro do valor adicionado da indústria de transformação, o setor correspondeu, em 2010, a 2,2% do total, onde, dentro dos setores selecionados do estudo, se destacam *Ferro e aço* (10,8%) e *Química* (10,1%), conforme Figura 120. O segmento *Metalurgia de minerais não-ferrosos e fundição de metais* representou 1,5% do valor adicionado da indústria de transformação, enquanto que *Extração de minerais metálicos não-ferrosos* representou apenas 0,7% em 2010.

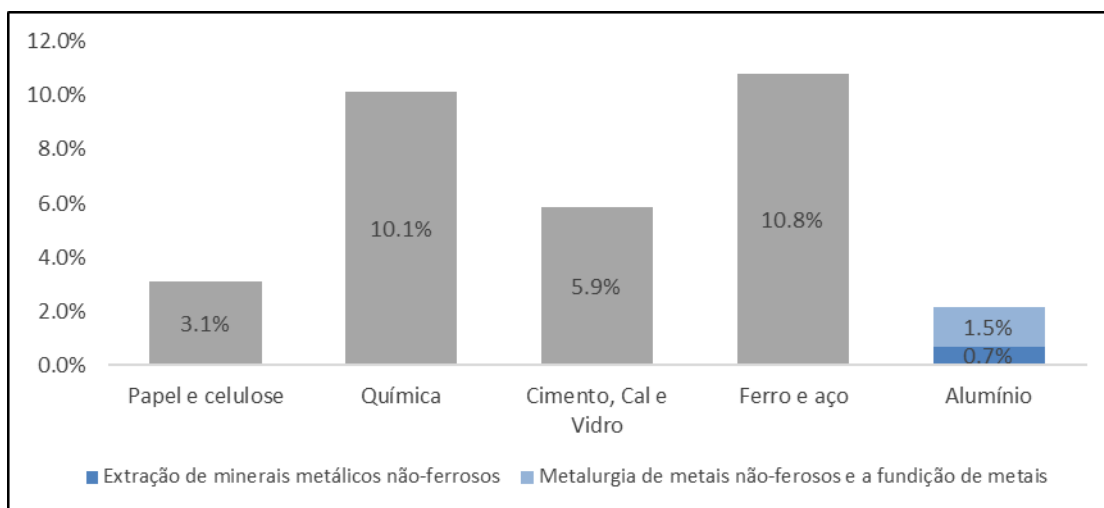


Figura 120: Participação do VA do setor Alumínio na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O setor *Alumínio* relacionado ao somatório do valor adicionado dos setores selecionados do estudo representa 6%, conforme Figura 121, sendo, portanto, o setor de menor representatividade. O

segmento *Metalurgia de minerais não-ferrosos e fundição de metais* representou 4,6% do valor adicionado dos setores em 2010, enquanto que *Extração de minerais metálicos não-ferrosos* representou apenas 2,2% em 2010.

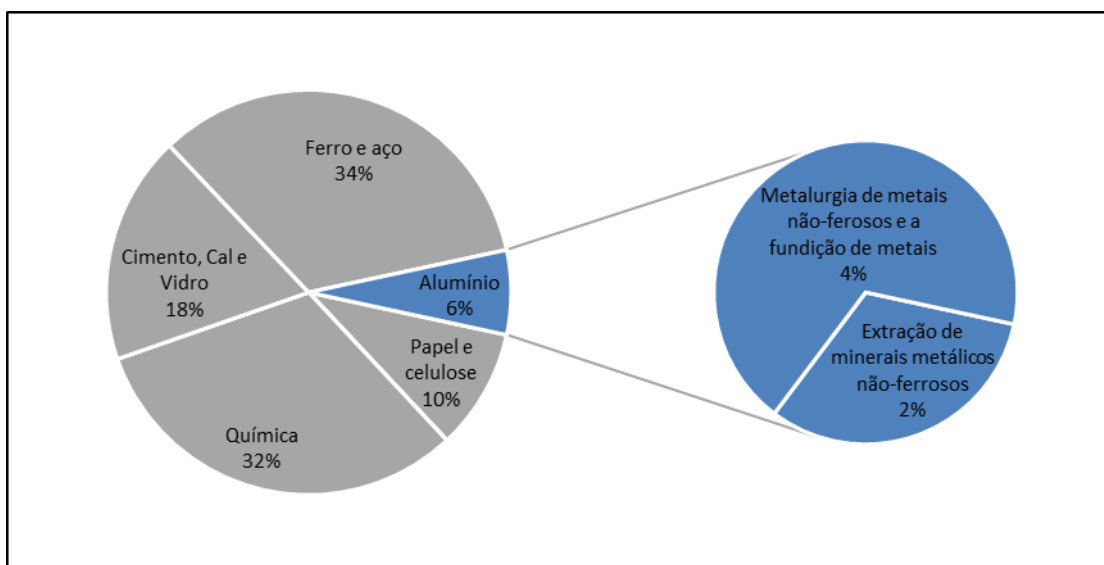


Figura 121: VA do setor Alumínio x VA dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Ademais, observa-se que a maior parte da produção do subsetor *Alumínio* serve de matéria-prima para outros segmentos e setores (consumo intermediário), e uma menor parte é destinada ao exterior. Observa-se que os produtos *Minerais metálicos não-ferrosos* tiveram, em 2010, cerca de 74% da sua produção destinada ao consumo intermediário, 23% ao exterior e 4% aos estoques. Já os *Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos* contaram com 71% da sua produção destinada ao consumo intermediário, cerca de 1% para o consumo das famílias, 26% para exportação e cerca de 3% foi para estoque. *Peças fundidas de aço e de metais não-ferrosos* destinou quase a totalidade da sua produção (mais de 99%) aos outros segmentos e setores e menos de 1% para a exportação (Figura 122).

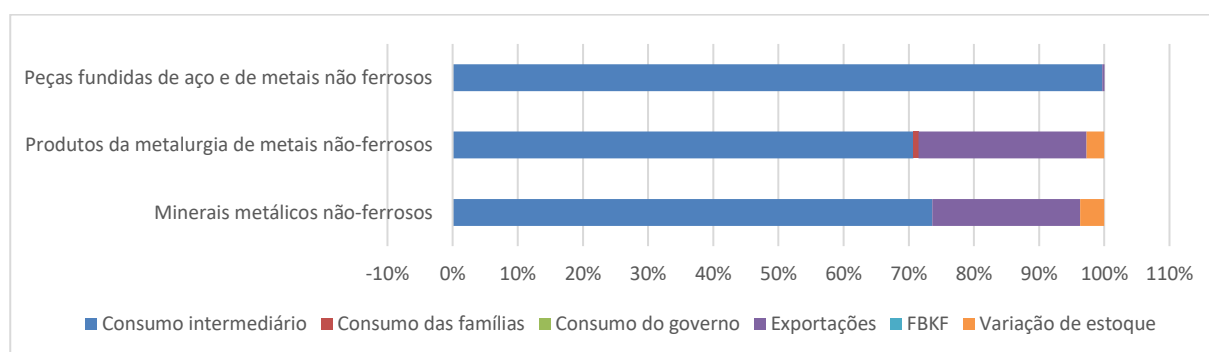


Figura 122: Distribuição das vendas do setor Alumínio, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

A produção de alumínio primário no Brasil em 2016 foi de 792 mil toneladas, valor este 2,7% maior do que o observado em 2015. Tal crescimento apontou certa estabilização do setor após as grandes quedas produtivas apresentadas em 2014 e 2015, de 26,2% e 19,7%, respectivamente (ABAL, 2017c), as quais, por sua vez, podem ser explicadas pela maior competição dos produtos chineses e pelo alto custo da energia elétrica, que chega a ser responsável por até 60% dos custos de produção.

Na Figura 123 é possível notar que, depois de um histórico de crescimento sustentado da produção, o Brasil tem apresentado, desde 2009, sucessivas reduções de sua produção de alumínio primário, após atingir seu pico de 1661 mil toneladas em 2008.

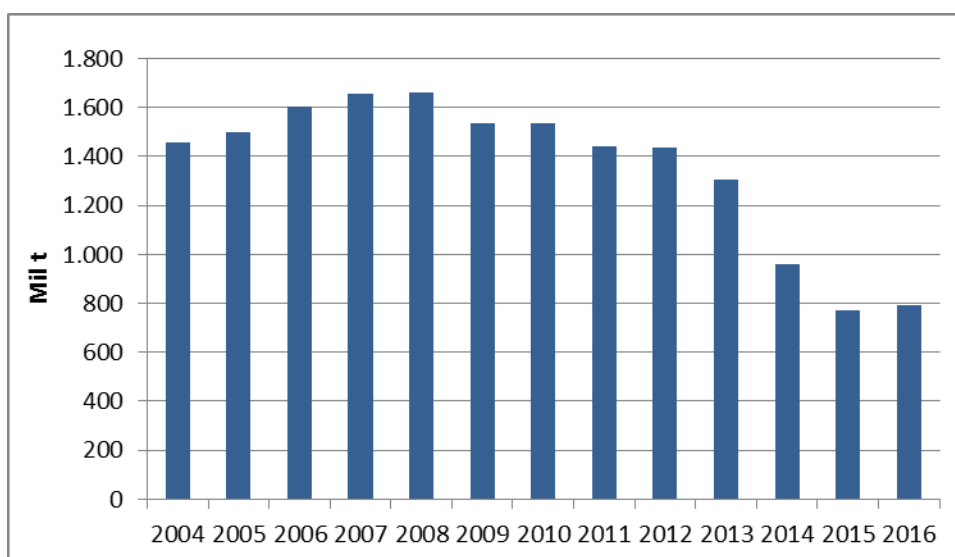


Figura 123: Produção de alumínio primário no Brasil (2004-2016)

Fonte: Elaboração própria a partir de ABAL (2017c).

Em contrapartida, o consumo aparente do metal apresentou tendência de crescimento desde 2009 (Figura 124). Enquanto a produção nacional de alumínio apresentou uma redução média de 11% a.a. entre 2010 e 2014, o consumo aparente cresceu 6% a.a. Tal consumo vem sendo suprido pelo aumento do uso de metal reciclado no setor, bem como pelas importações. Neste contexto, quando comparado a outros países, o Brasil apresenta uma alta relação entre a sucata recuperada e o consumo doméstico, chegando a 38,5%, sendo a média mundial de 27,1%. Países como a Itália e Reino Unido chegam a 54,6% e 50,1%, respectivamente (DNPM, 2017).

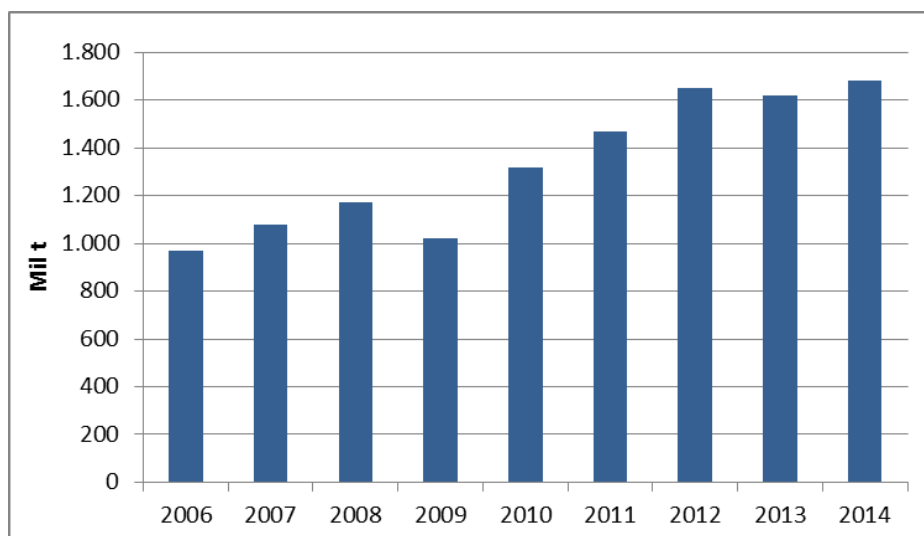


Figura 124: Evolução do consumo aparente de alumínio no Brasil

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de DNPM (2017).

Em relação à bauxita, no ano de 2014 o Brasil apresentava a terceira maior reserva mundial, sendo responsável pela quarta maior produção (USGS, 2017). Tal reserva está concentrada na região Amazônica (DNPM, 2017). A produção brasileira desse mineral em 2015 foi de 37.057 mil toneladas e apresentou um crescimento médio de 2,1% a.a. entre 2010 e 2015 (Figura 125).

A alumina, por sua vez, apresentou no período de 2010 a 2015 crescimento médio de 5,0% a.a., com uma produção de 10.452 mil toneladas em 2015 (Figura 125) (ABAL, 2017 e DNPM, 2017).

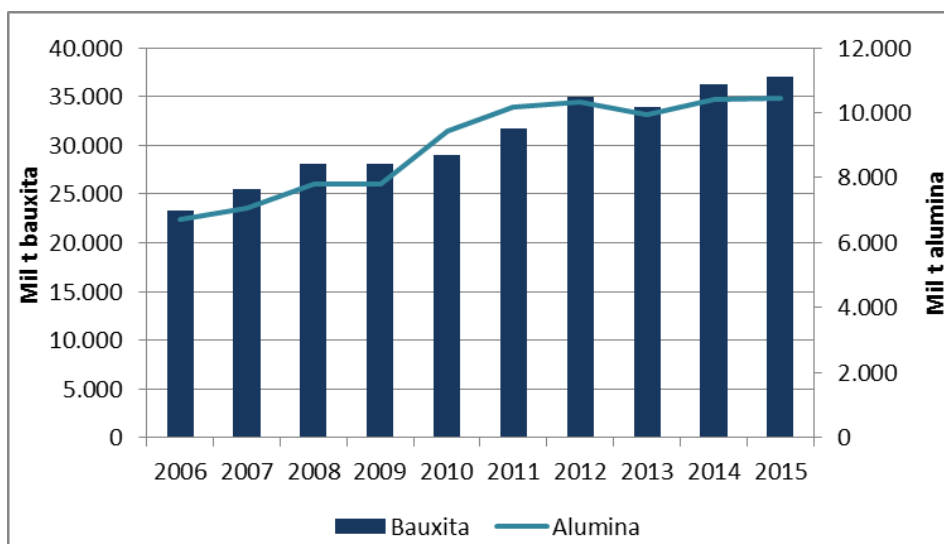


Figura 125: Evolução da produção de bauxita e alumina no Brasil (2006-2015)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de DNPM (2017) até 2012 e ABAL (2017c) após 2012.

Por dependerem da localização da reserva, as atividades de extração da bauxita e refino em alumina concentram-se nos estados onde o minério se encontra disponível, como é o caso de Minas Gerais e

Pará. Do total de bauxita produzido em 2015, quase 90% vieram de minas localizadas no estado do Pará (ABAL, 2017c). No caso da alumina, sua produção está concentrada em estados como Pará e Minas Gerais, que juntos responderam por 92% da produção. Já a produção brasileira de transformados de alumínio é mais dispersa, pois não dependem de localização das reservas exclusivamente (Figura 126).

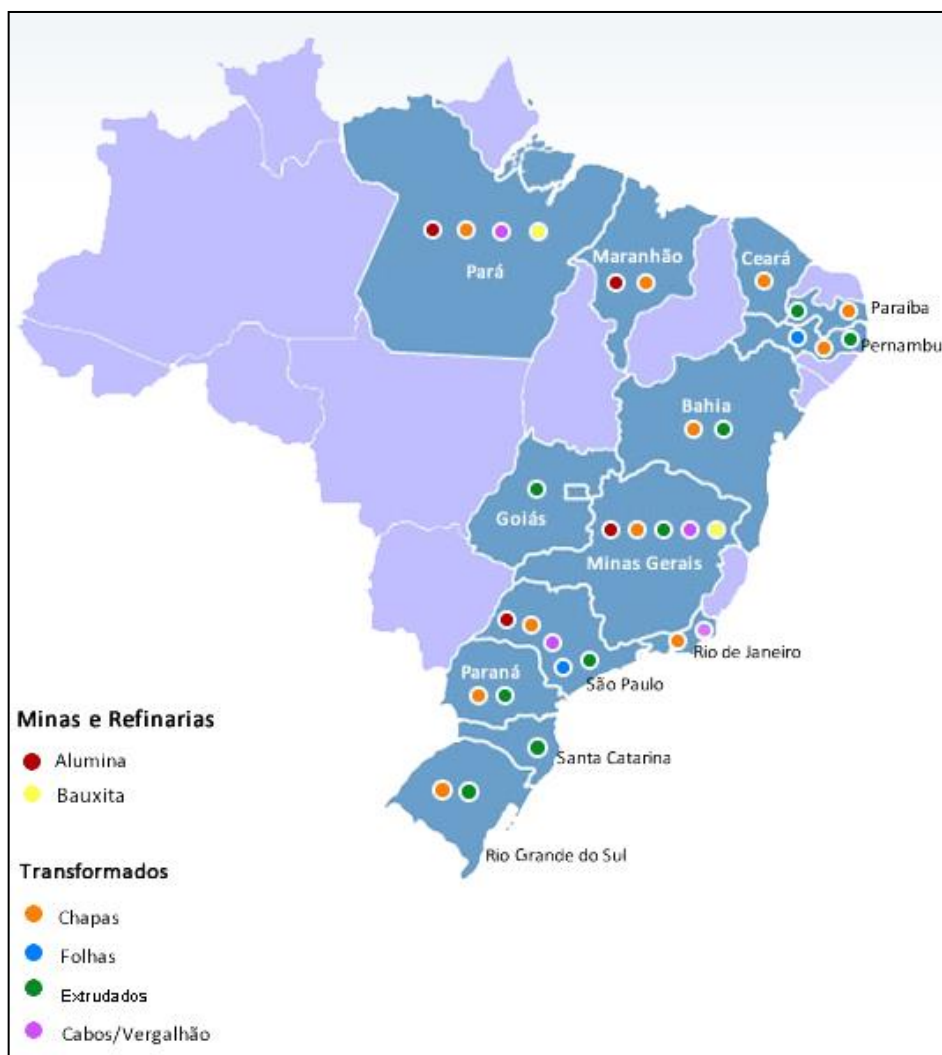


Figura 126: Localização da cadeia produtiva de alumínio no Brasil⁵⁵

Fonte: ABAL (2017c).

Devido à grande reserva provada de bauxita, novas plantas de produção estão sendo previstas no Brasil. O projeto Alumina Rondon estima um investimento de R\$ 6,6 milhões de reais e é o principal projeto da Votorantim Metais no país. A previsão é de que o projeto entre em operação em 2017 e

⁵⁵ Destaca-se a abertura de novas plantas de alumínio primário, já em operação, nos Estados do Pará e São Paulo; e da mina de bauxita em Goiás, após a elaboração da figura.

produza 7 milhões de tonelada de bauxita por ano, e 3 milhões de tonelada de alumina, o que faria da Alumina Rondon a segunda maior refinaria do mundo (Alumina Rondon, 2017 e DNPM, 2017).

Além disso, a Rio Tinto Alcan pretende investir no Brasil, na Bahia, porém, de acordo com DNPM (2016) o projeto depende da construção de uma ferrovia que interligue leste e oeste, e também do desenvolvimento do mercado internacional. O investimento é resultante da descoberta de uma grande reserva de bauxita na Bahia, nos municípios de Jaguaquara e Vitória da Conquista. O projeto teria a capacidade anual de produção de 1,8 milhão de t/ano (DNPM, 2017).

Em contrapartida, a capacidade de produção de alumínio primário no país foi reduzida nos últimos anos, e, empresas como ValeSul (Santa Cruz-RJ), Novelis (Aratu-BA e Ouro Preto-MG), Alcoa (Poços de Caldas-MG) fecharam suas plantas, e o Consórcio Alumar (Alcoa e South32) encerrou temporariamente sua produção (ABAL, 2017c).

Em 2015 a capacidade brasileira de produção de alumínio foi de apenas 935 mil t/ano, suprida pela Albras (PA) e Companhia Brasileira de Alumínio (SP).

3.5.2 GRAU DE CONCENTRAÇÃO

De acordo com dados de IBGE (2014), em termos de pessoal ocupado, o setor *Alumínio* representa menos de 1% (0,9%), com mais de 78 mil pessoas, do setor da indústria de transformação. Conforme a Figura 127, o setor representa 7% dos setores industriais selecionados do estudo, de modo que se destacam o segmento *Metalurgia de minerais não-ferrosos e fundição de metais* com 77% do total de pessoas ocupadas, seguido do segmento *Extração de minerais metálicos não-ferrosos* com 23%.

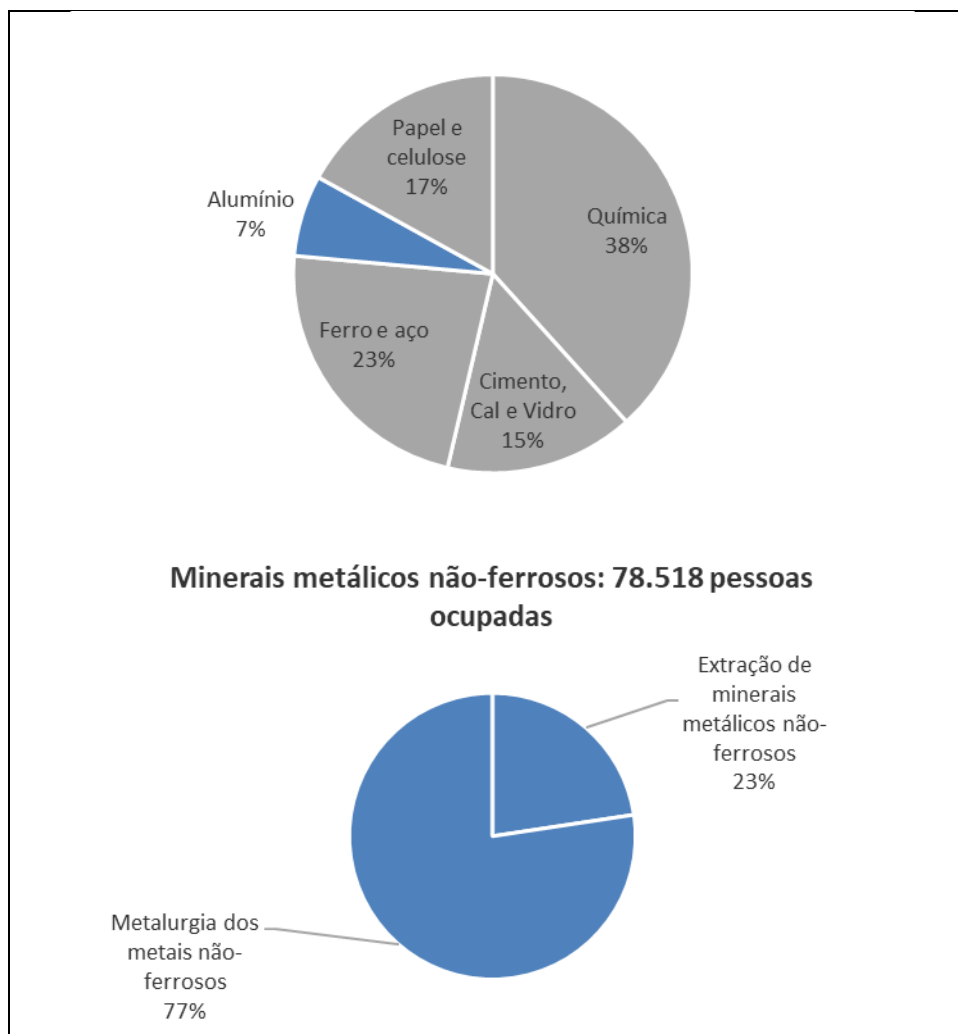


Figura 127: Coeficiente de Pessoal Ocupado para Alumínio, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

O índice de Razão de Concentração (CR) é utilizado para determinar a participação de grandes empresas no mercado. Seu resultado deve variar entre 0 (zero) e 100 (cem), onde “0” representa uma situação de concorrência perfeita e “100” indica uma condição de concentração intensa. De acordo com os dados de IBGE (2014), os quais estimam os índices de concentração econômica a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas⁵⁶, os índices CR do setor *Alumínio* são superiores às médias dos setores industriais selecionados do estudo. A partir de uma análise mais detalhada das empresas dentro de cada segmento/produto do setor é possível observar maiores graus de concentração. Conforme Figura 128, para o segmento *Metalurgia de minerais não-ferrosos e fundição de metais*, que apresentou um total de 1.315 empresas em 2014, os índices CR chegaram a 47,4 (CR12), já para

⁵⁶ Vale ressaltar que em termos de capacidade instalada o índice CR tende a ser superior ao estimado via pessoal ocupado, tendo em vista a convivência de grandes e microempresas.

Extração de minerais metálicos não-ferrosos é possível observar maior concentração ainda chegando 61,5 (CR12), a partir de um total de 516 empresas em 2014.

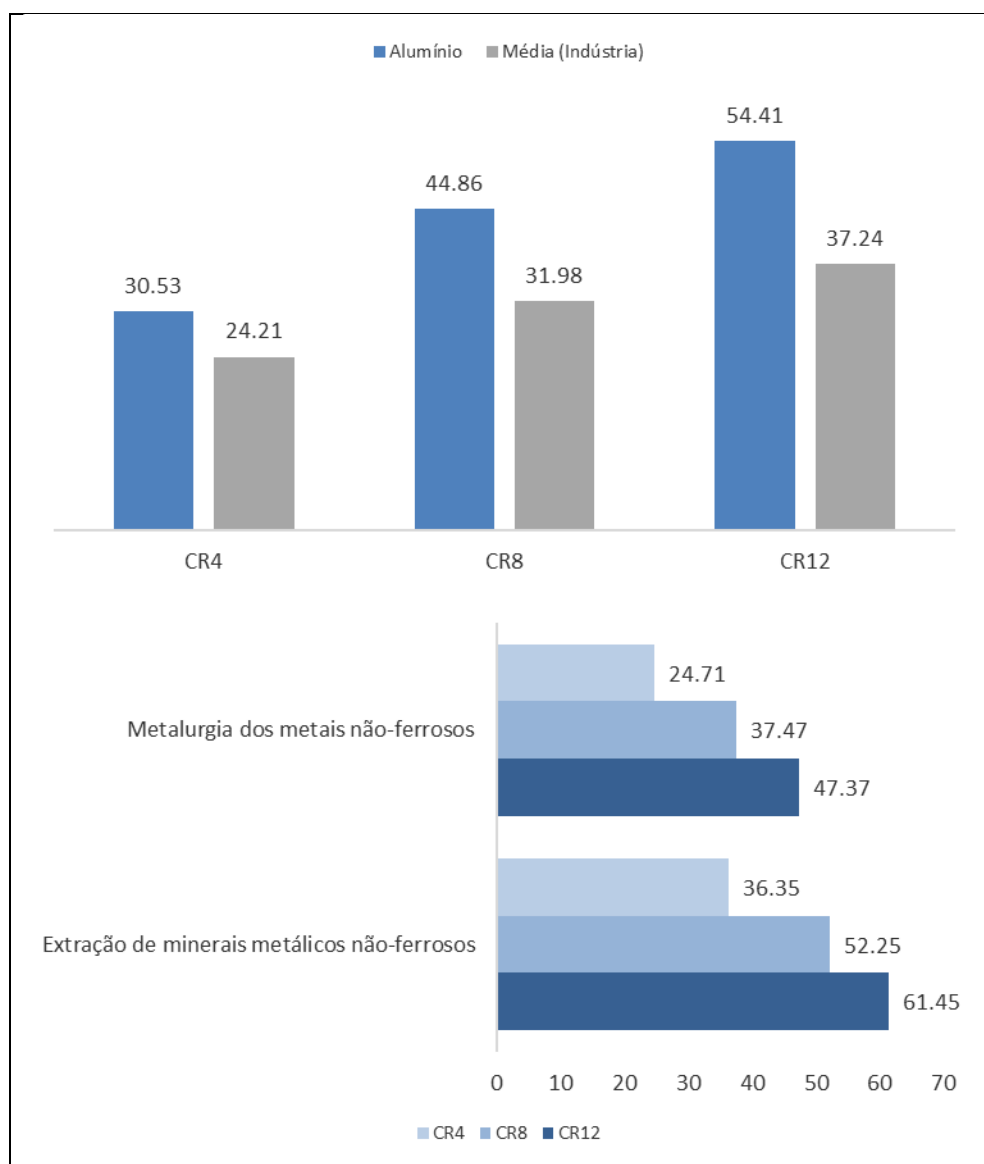


Figura 128: Índices de Razão de Concentração* para Alumínio, 2014

Fonte: IBGE (2014).

* índices de concentração econômica estimados a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas. A média da indústria inclui apenas os setores selecionados neste estudo.

Ainda a partir dos dados de IBGE (2014), foi possível construir gráficos que relacionam o número de empresas com a quantidade de pessoal ocupado para cada segmento dos setores industriais selecionados do estudo. De acordo com o nível de desagregação dos dados, não foi possível diferenciar o gráfico do setor *Alumínio* com o setor *Ferro e aço*. Nesse caso, conforme a Figura 129, podemos observar a predominância de pessoal ocupado na *Extração de minerais metálicos* em relação a *Metalurgia*. É interessante notar que o número de empresas para *Metalurgia* é bastante superior a

Extração de minerais metálicos, que apresenta um número bastante inferior de pessoas ocupadas na maioria das empresas do segmento (predominantemente de 0 a 4 pessoas empregadas).

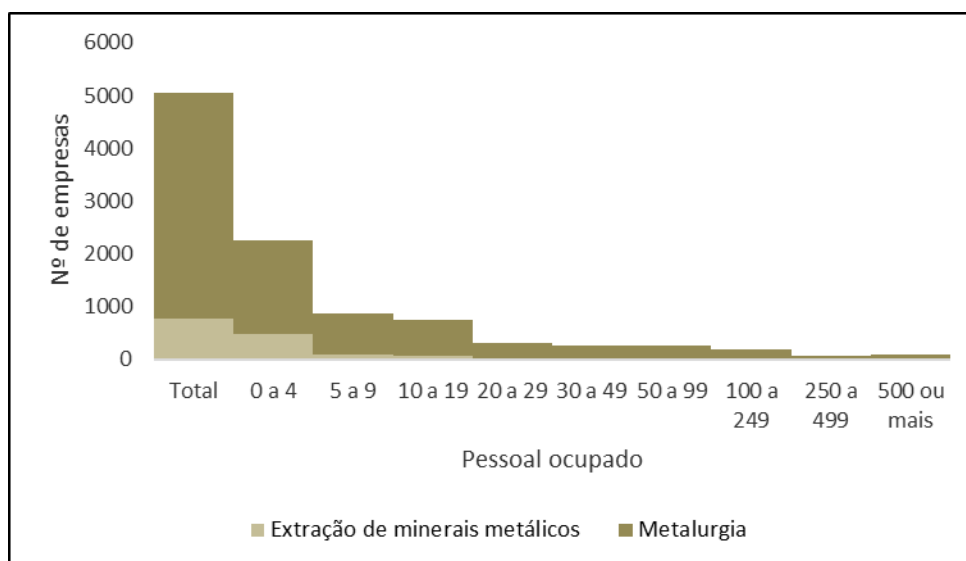


Figura 129: Número de empresas x Pessoal ocupado para Minerais Metálicos Não-ferrosos, 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

Das cerca de 5 mil empresas do setor de alumínio, é possível observar uma verticalização da indústria, além da forte participação de empresas internacionais no mercado brasileiro. A tendência à verticalização e formação de *joint-ventures* nessa indústria está relacionada à necessidade de garantir o fornecimento de matérias-primas e de reduzir custos, para viabilizar financeiramente os investimentos (CARDOSO, 2011).

A indústria de alumínio mundial apresenta um mercado consideravelmente concentrado, onde grandes indústrias globais atuam em diversos países. No que se refere à bauxita, a produção é concentrada em dois grupos principais, a Alcoa e a Rio Tinto Alcan. Com respeito à alumina, sete empresas detêm 50% do mercado, a saber: Alcoa, UC Rusal, Rio Tinto Alcan, Chalco, Norsk Hydro, China Power Inv. Corp. e BHP Billiton (BAIN AND COMPANY, 2013). Tratando-se de alumínio primário, as principais empresas produtoras do mundo são a chinesa Hongquiao em primeiro lugar, seguida da russa UC Rusal, da canadense Rio Tinto Alcan, das chinesas Shandong Xinfu e Chalco e da americana Alcoa. Essas seis empresas juntas responderam por 37,6% do total produzido no mundo em 2016 (STATISTA, 2017).

No Brasil, a MRN (Mineração Rio do Norte) é responsável por cerca de 50% da produção de bauxita (ABAL, 2017c). A empresa opera desde 1979 na região Amazônica, no oeste do estado do Pará, e é constituída por uma associação de empresas nacionais e estrangeiras, sendo a Vale a sua maior

acionista (40%). As líderes mundiais Alcoa⁵⁷ (18,2%) e Rio Tinto Alcan (12%) também possuem participação na MRN (MRN, 2017).

Já a produção de alumina tem como principal produtor a Hydro Alunorte (Alumina do Norte do Brasil S.A.) (ABAL, 2017c), empresa em que a norueguesa Norsk Hydro tem participação acionária de 91%. A Hydro Alunorte, localizada no estado do Pará, é a maior refinaria de alumina no mundo e conta com uma capacidade de produção de 6,2 milhões de toneladas por ano, tendo produzido, em 2015, 5,9 milhões de toneladas (HYDRO, 2017).

Grande parte da produção da Alunorte é destinada à exportação, sendo uma outra parte destinada a empresa de produção de alumínio vizinha, a Albras, também com participação acionária da Norsk Hydro (51%) juntamente com a empresa NAAC. A empresa recebe a bauxita da Norsk Hydro, que, em 2015, respondeu por 27,1% da produção desse minério (HYDRO, 2017).

⁵⁷ Considerando as três empresas do grupo: Alumínio S.A. (8,58%), World Alumina (5%) e AWA Brasil (4,62%),

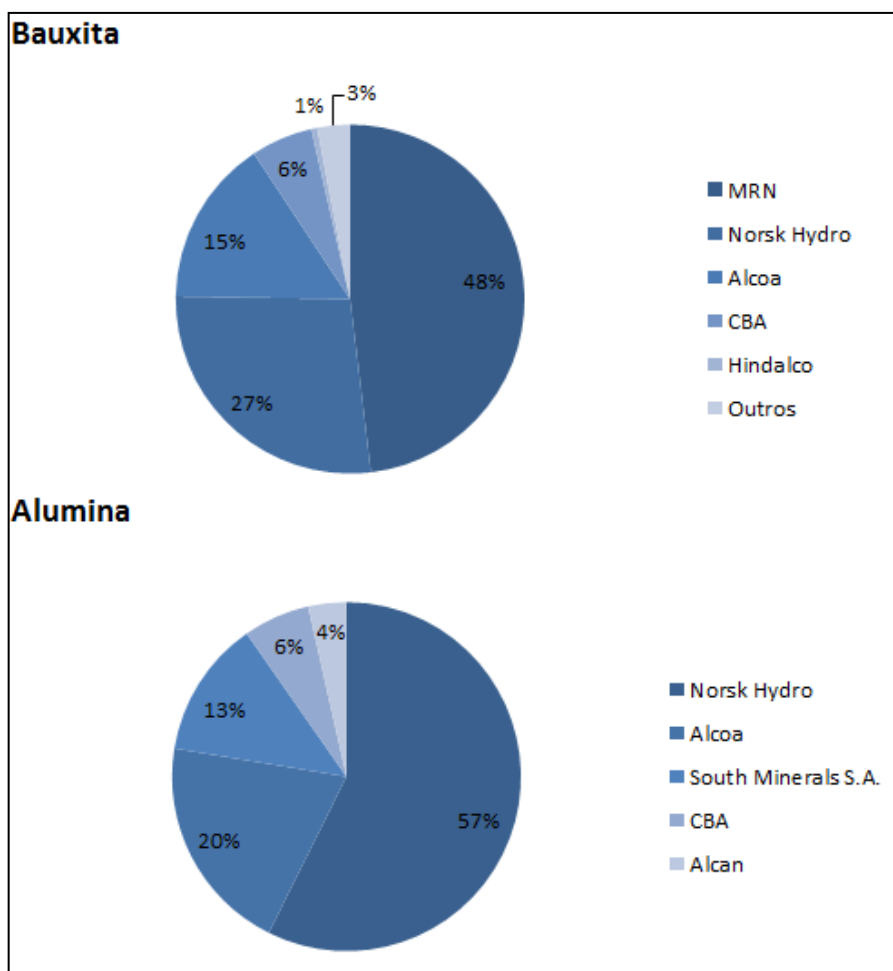


Figura 130: Participação das principais produtoras de bauxita e alumina na produção em 2015

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de ABAL (2017c).

Quanto à produção de alumínio primário, a Albras possui a segunda maior capacidade produtiva do Brasil e foi responsável por 56,4% do total de alumínio primário produzido em 2015. A empresa, que possui uma capacidade instalada de 460 mil t de alumínio/ano, atingiu o volume de 435 mil t/ano em 2015 (ABAL, 2017c).

A CBA (Companhia brasileira de alumínio) foi responsável naquele ano por cerca de 40% da produção de alumínio primário, com 302 mil t/ano, de uma capacidade de 475 mil t/ano (ABAL, 2017c). A empresa foi a segunda a fabricar alumínio primário no Brasil, desde 1955, e hoje tem sua produção em São Paulo. Além disso, a CBA é líder na reciclagem de sucata industrial de alumínio, através da Metalex, integrada à Companhia em 2010 (CBA, 2017).

Atualmente, as únicas empresas de produção de alumínio primário, em atuação no Brasil, são a Albras e CBA. Sendo assim, desde 2009 a capacidade produtiva de alumínio primário no Brasil tem declinado, com o fechamento de várias plantas diante, principalmente, do aumento do custo da energia elétrica.

Em 2009, houve o fechamento definitivo da planta da Valesul, localizada em Santa Cruz (RJ); em 2010, a planta da Novelis em Aratu (BA); em 2014, a planta da mesma Novelis em Ouro Preto (MG) e a planta de Poços de Caldas (MG) da Alcoa. A última decisão de fechamento ocorreu em março/2015, quando o Consórcio Alumar (integrado por Alcoa e South32), em São Luís (MA) suspendeu a produção de alumínio primário, em março de 2015, em caráter temporário, deixando uma capacidade ociosa de 457 mil toneladas. (ABAL, 2017).

3.5.3 INDICADORES DE ENCADEAMENTO INTERSETORIAL E EFEITO MULTIPLICADOR

A partir de dados da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), foram obtidos os índices de ligação Rasmussen-Hirschman (RH). De acordo com o critério de McGILVRAY (1977), se os setores apresentarem índices de ligação para frente (que expressa o quanto um setor é demandado pelos outros), e/ou para trás (que mostra o quanto um setor demanda dos outros) maiores do que 1 podem ser classificados no conceito restrito como setores-chave. Este é o caso da maioria dos setores industriais do Brasil, os quais demonstram alto poder de encadeamento com atividades tanto à jusante, as quais demandam matérias-primas para a elaboração de produtos com maior valor adicionado, quanto à montante da economia.

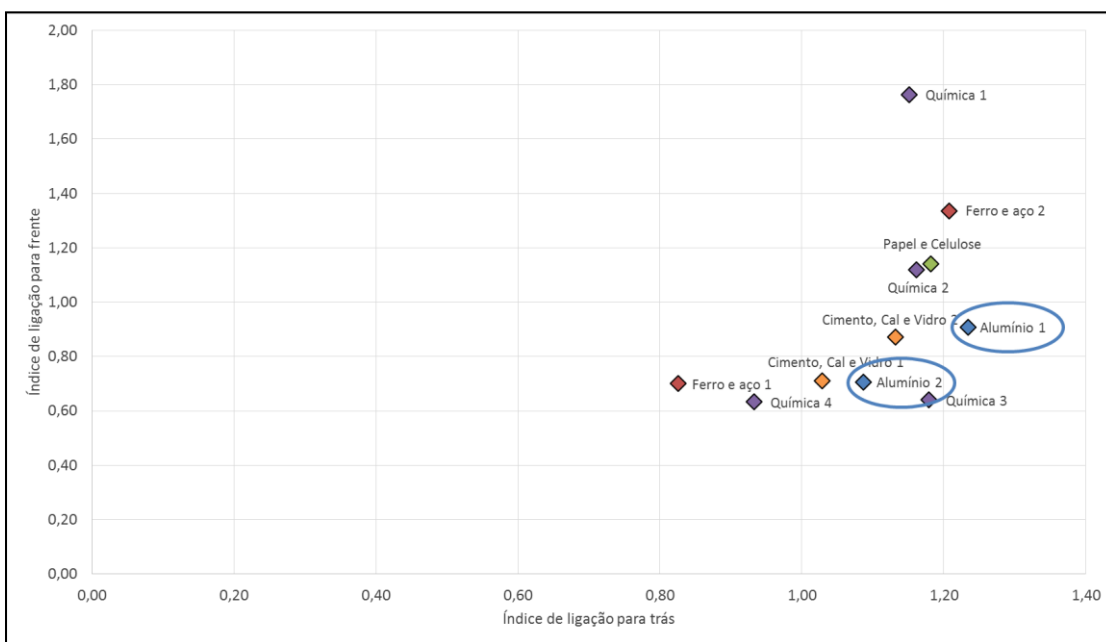


Figura 131: Índices de ligação Rasmussen-Hirschman para Alumínio, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Conforme a Figura 131, observa-se que os segmentos *Alumínio 1* e *2*, os quais representam, respectivamente, a *Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos* e

Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais, apresentam índices de ligação para trás superiores a unidade (1,09 e 1,23, respectivamente), de modo que um aumento do nível de suas atividades gera aumento acima da média na demanda por insumos de outros setores. Contudo, os índices de ligação para frente são inferiores a unidade, o que pode indicar uma concentração das vendas para construção civil e para o setor de transportes (automobilístico), o que pode vir a vulnerabilizar a indústria de Alumínio.

A análise da estrutura econômico-produtiva dos segmentos industriais nacionais também foi realizada através da obtenção dos multiplicadores totais (tipo II) setoriais: de renda, de produção, de emprego e tributário. Em 2010, o multiplicador de renda médio da economia foi de 3,94 e o setor *Alumínio* apresentou multiplicadores de renda superiores à média, conforme Figura 132. Para cada aumento de R\$ 1 milhão nas remunerações de *Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos* (Alumínio 1) seriam gerados R\$ 3,97 milhões de remunerações em toda a economia, considerando efeitos diretos, indiretos e induzidos. Para *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (Alumínio 2) seriam gerados R\$ 5,20 milhões de remunerações em toda a economia, dado um aumento de R\$ 1 milhão nas remunerações das atividades. Em termos de produção, ainda na Figura 132, é necessário um total de R\$ 4,13 milhões e R\$ 4,48 milhões para satisfazer cada R\$ 1 milhão de demanda final das atividades *Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos* (Alumínio 1) e *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (Alumínio 2), respectivamente.

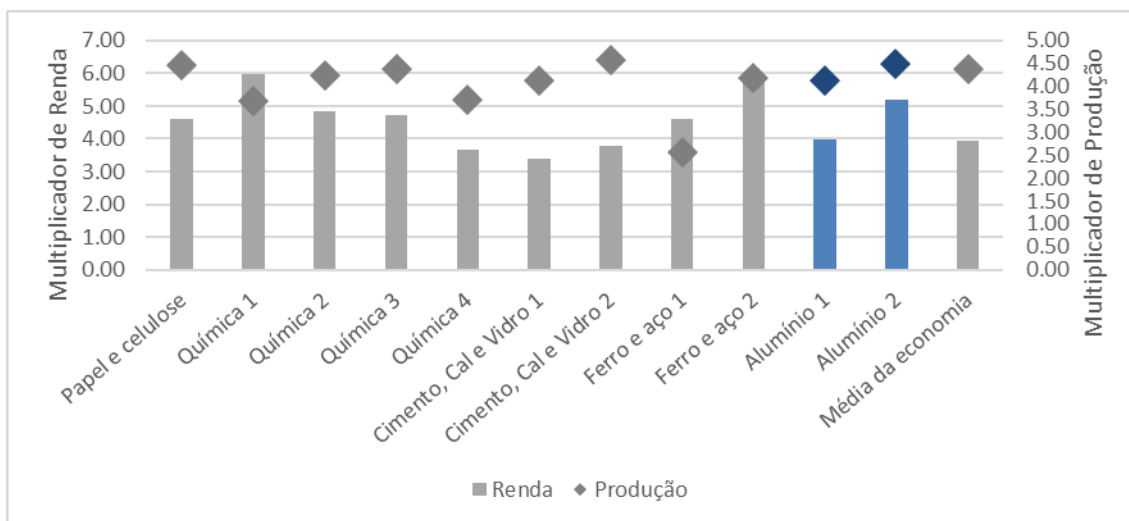


Figura 132: Multiplicadores de renda e de produção para Alumínio, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

No que tange aos multiplicadores de emprego e tributário, é possível observar na Figura 133 os resultados do setor *Alumínio* em 2010. O multiplicador de emprego médio da economia dos setores industriais selecionados do estudo foi de 11,28 e o setor de *Alumínio* apresentou multiplicadores de emprego próximos à média. Para cada aumento de 1 emprego na *Extração de minerais metálicos não-*

ferrosos, inclusive beneficiamentos (Alumínio 1) seriam geradas 10,82 novas ocupações em toda a economia, considerando efeitos diretos, indiretos e induzidos. Para *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (Alumínio 2) seriam gerados 12,43 empregos em toda a economia. Em termos de tributos, ainda na Figura 133, o setor *Alumínio* apresentou os seguintes multiplicadores: para cada aumento de R\$ 1 nos tributos de *Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos* (Alumínio 1) seriam gerados R\$ 3,42 de receita de impostos, líquidos de subsídios, sobre a produção e a importação em toda a economia, enquanto que para *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (Alumínio 2) seriam gerados R\$ 4,02.

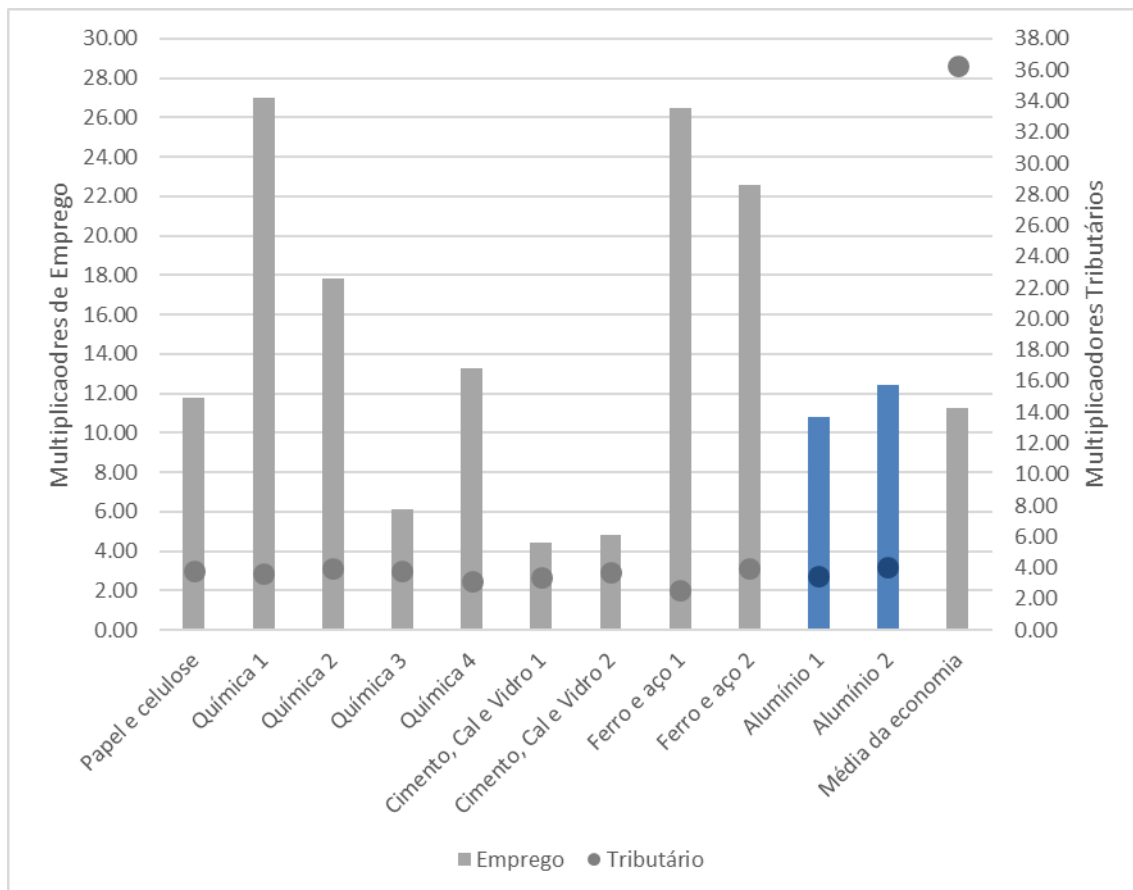


Figura 133: Multiplicadores de emprego e tributários para Alumínio, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

O consumo do alumínio está relacionado à fabricação de diversos produtos, estando presente em diversas plantas industriais, no papel de insumo básico ou como parte de máquinas e equipamentos (CARDOSO, 2011). O alumínio primário se transforma em produtos semifaturados como chapas, folhas, extrudados, fios e cabos, fundidos e forjados, pó, usos destrutivos e outros (ABAL, 2017c).

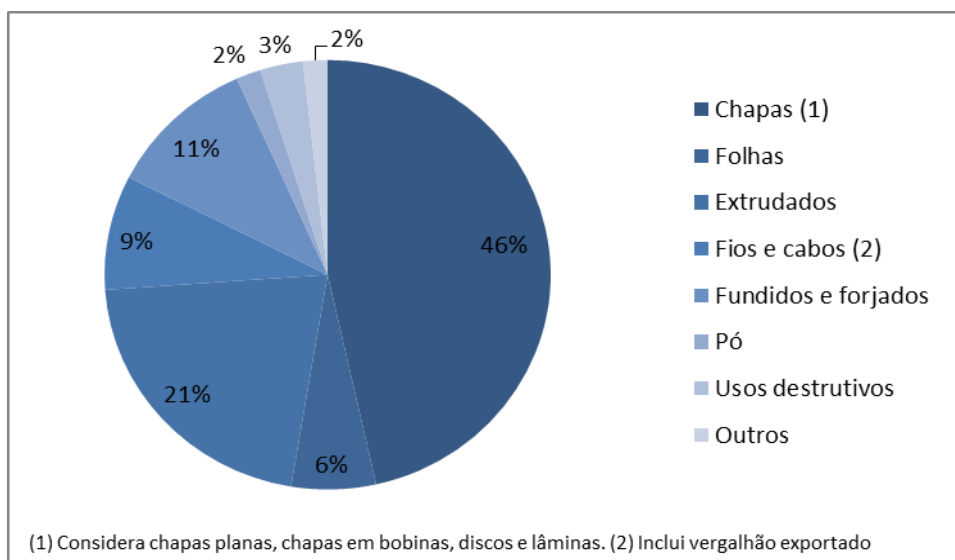


Figura 134: Produtos transformados de alumínio e sua participação na produção em 2015

Fonte: Elaboração própria a partir de ABAL (2017c).

Estes produtos transformados são utilizados posteriormente em indústrias como construção civil, transportes, indústria de eletricidade, bens de consumo, embalagens, máquinas e equipamentos e outros. O setor que mais demanda transformados de alumínio é o de embalagens, seguido por transportes (Figura 135).

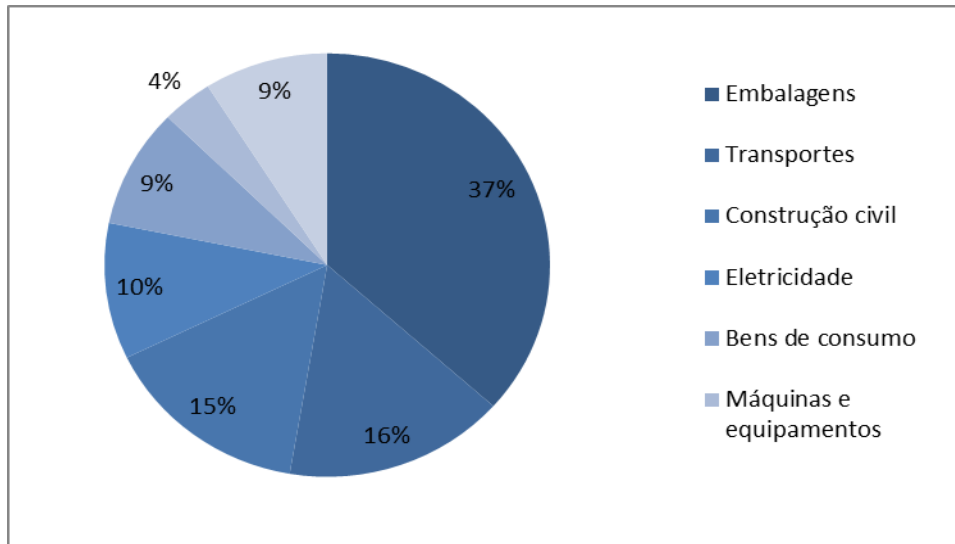


Figura 135: Setores de consumo de transformados de alumínio e sua participação

Fonte: Elaboração própria a partir de ABAL (2017c).

O consumo de alumínio para estes setores sofreu uma redução entre os anos de 2015 e 2016, sendo o maior impacto observado no setor de transportes e construção civil (Figura 136), que já mostravam queda desde 2014 (LATASA, 2014).

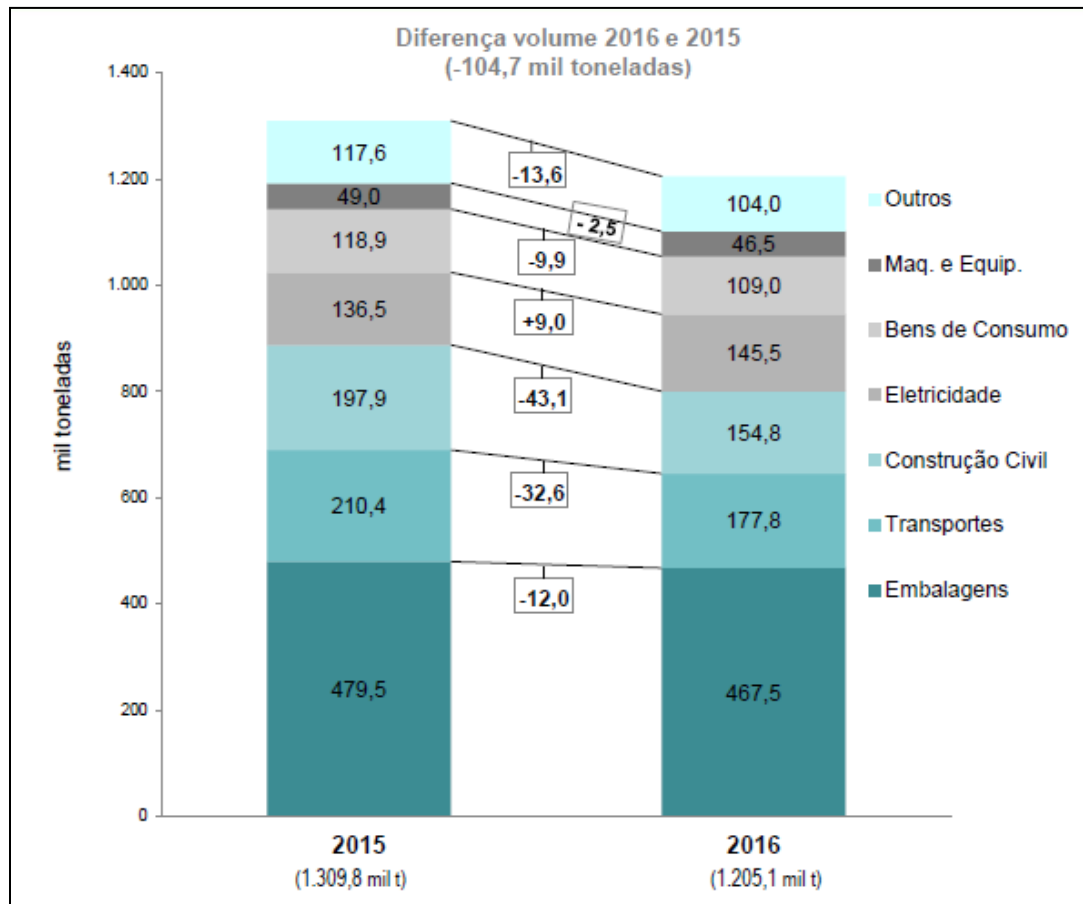


Figura 136: Variação do consumo de transformados de alumínio entre 2015 e 2016

Fonte: ABAL (2017d).

3.5.4 VULNERABILIDADE EXTERNA

O Brasil tem a terceira maior reserva de bauxita mundial, como mencionado anteriormente, com 2,6 bilhões de toneladas de reserva lavrável provada em 2015. As principais reservas se encontram na Guiné e Austrália, com 7,4 bilhões e 6,5 bilhões de toneladas, respectivamente (USGS, 2017). No ano de 2014, O Brasil e a Austrália foram os únicos países que aumentaram sua reserva, em relação a 2013 (DNPM, 2017).

A produção brasileira de alumina também aparece com grande relevância no cenário mundial. No ano de 2015 o Brasil figurou como o terceiro maior produtor, com 10,5 milhões de toneladas, quando a China contribuiu com a maior produção mundial seguida da Austrália, com 59,0 milhões e 20,1 milhões de toneladas, respectivamente (USG, 2017).

Como produtor de alumínio primário o Brasil tem perdido espaço no cenário mundial nos últimos anos. Entre 2008, auge da produção, e 2015, a produção brasileira de alumínio teve uma redução média de

10,1% a.a. (ABAL, 2017c e DNPM, 2017), enquanto a produção mundial cresceu no mesmo período 5,4% a.a.. Assim, o Brasil passa de sexto produtor mundial de alumínio em 2008 a décimo primeiro em 2015 (USGS, 2017), quando a produção mundial atingiu 57,5 milhões de toneladas, sendo a China a maior produtora mundial, com 31,4 milhões de toneladas. A mesma, apesar de não possuir as maiores reservas mundiais, segue como maior produtora de alumínio, respondendo por 55% da produção total. No período de 2008 a 2015, o aumento da produção chinesa foi de proximadamente 13,2% a.a., valor este muito superior à média mundial (USGS, 2017).

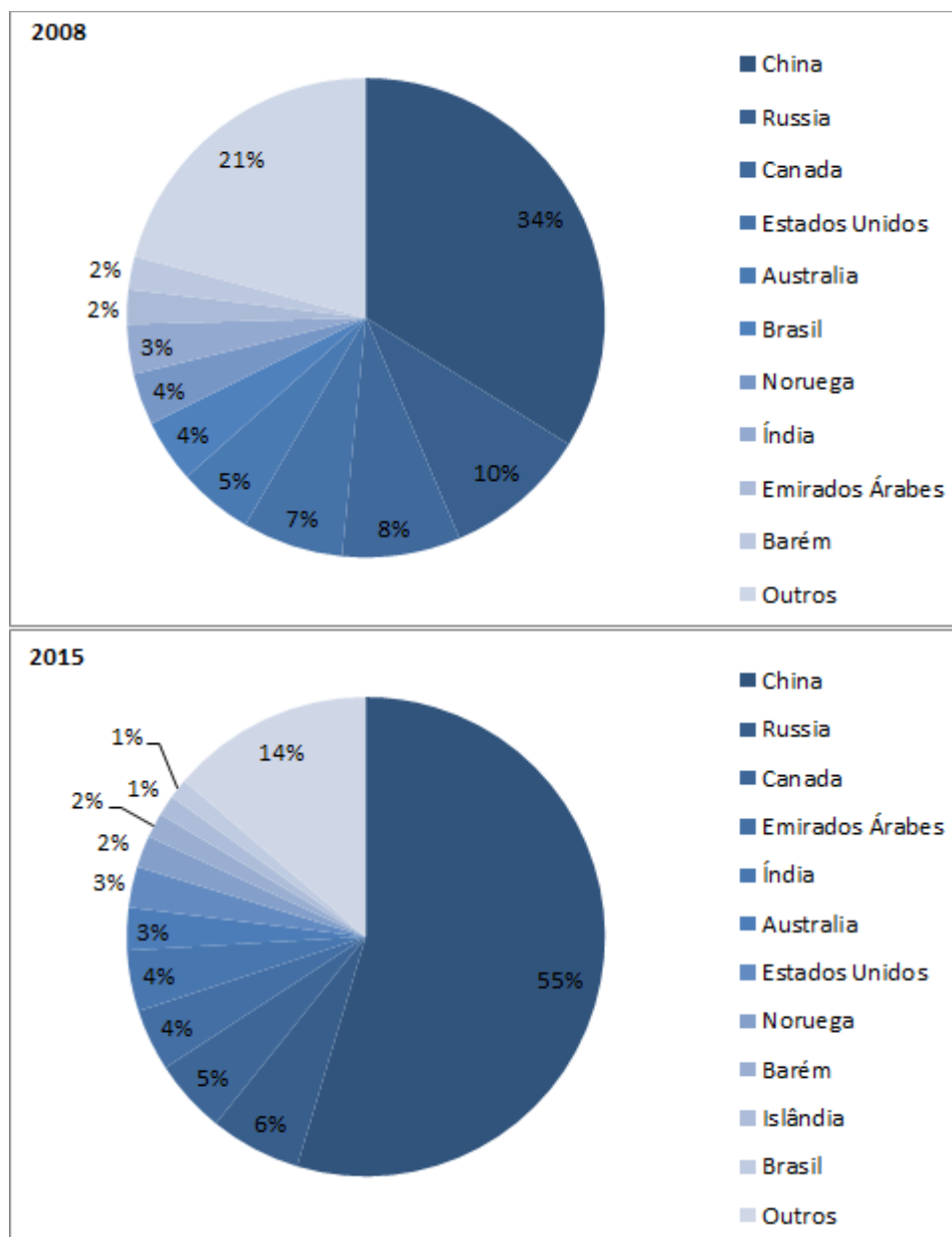


Figura 137: Participação dos países na produção mundial de alumínio em 2008 e 2015

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de USGS (2017).

Segundo o conceito do coeficiente de exportações na estrutura de produção, que pode ser obtida através da relação entre a exportação e a produção total para cada um dos setores da economia, uma participação maior do que 20% das exportações, por unidade de produção, indica que o setor é voltado para o mercado externo, logo vulnerável ao comércio internacional (WWF, 2017). Nesse sentido, em 2010, os setores *Ferro e aço* e *Alumínio* apareciam como os mais vulneráveis à perda de competitividade no comércio internacional, perante países com vantagens comparativas. De acordo com USG (2017), a produção brasileira de alumina aparece com grande relevância no cenário mundial. Conforme a Figura 138, em 2010, *Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos* (Alumínio 1) representou o segundo segmento mais vulnerável em relação aos setores selecionados do estudo, com 34% de exportações por unidade de produção e *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (Alumínio 2) aparece logo atrás com 31%.

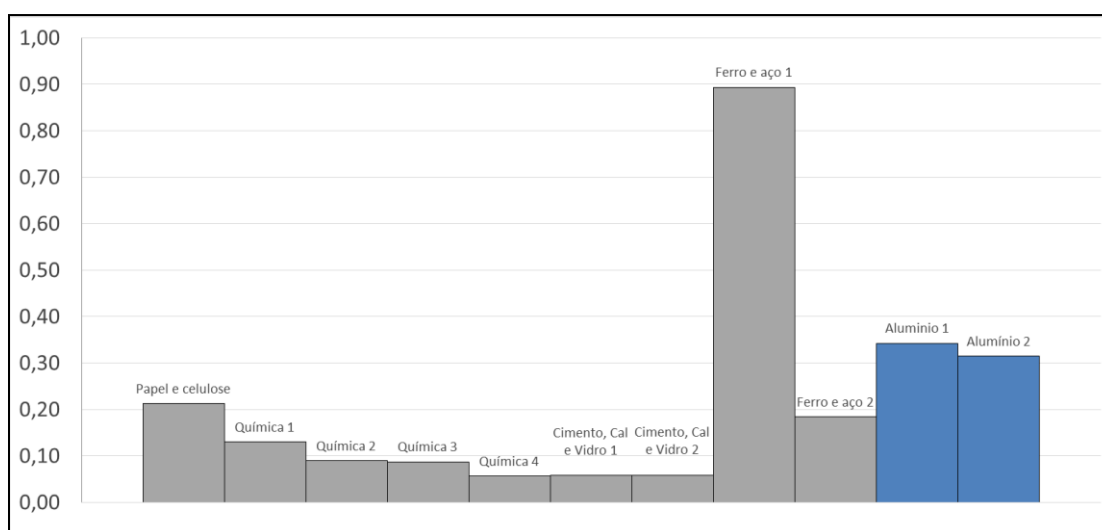


Figura 138: Coeficiente de Exportação para Alumínio, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Em relação aos países importadores de bauxita, no ano de 2016, os principais foram China (47%) e Canadá (21%); de alumina, Canadá (34%) e Noruega (23%); já em alumínio e seus produtos, os principais importadores foram Japão (33%) e Holanda (12%) (ABAL, 2017). Entretanto, desde 2014, o Brasil passou de um país exportador de alumínio e seus produtos a uma situação de balança comercial desfavorável. No ano de 2016 este déficit foi de US\$ FOB 216 milhões (ABAL, 2017c).

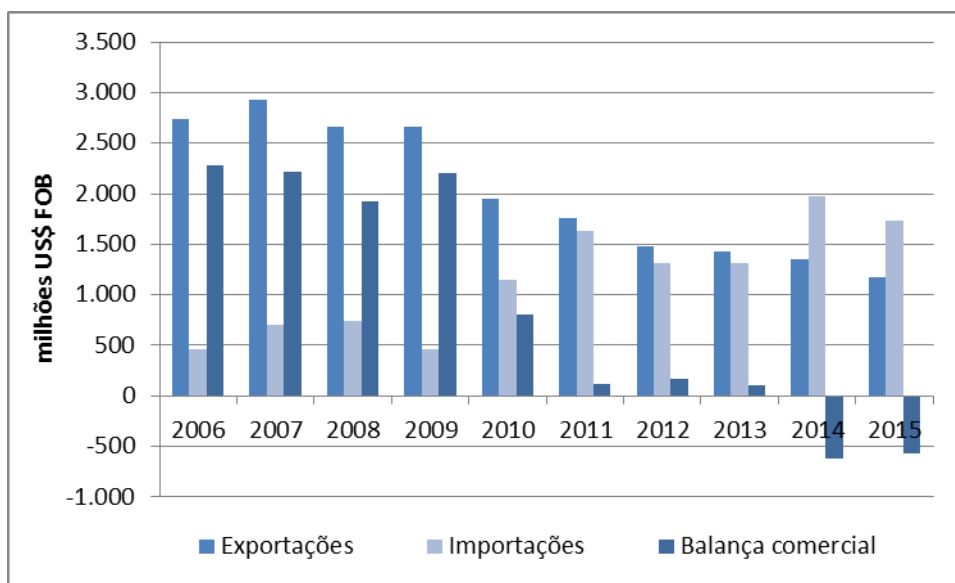


Figura 139: Balança comercial de alumínio do Brasil entre 2006 e 2015

Fonte: Elaboração própria a partir de ABAL (2017c) e DNPM (2017).

O coeficiente de penetração das importações é a parcela da oferta interna atendida pelas importações. No Brasil, é possível observar que os produtos do setor *Alumínio* apresentaram, em 2010, coeficientes de penetração de importação acima da média dos setores industriais selecionados do estudo (14%), exceto *Peças fundidas de aço e de metais não-ferrosos* com apenas 2%, conforme a Figura 140. Os segmentos *Minerais metálicos não-ferrosos* e *Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos* apresentaram altos coeficientes de penetração de importação, 18% e 20%, respectivamente, se classificando entre os maiores dos segmentos e setores selecionados do estudo. Tal resultado ratifica a vulnerabilidade externa do setor.

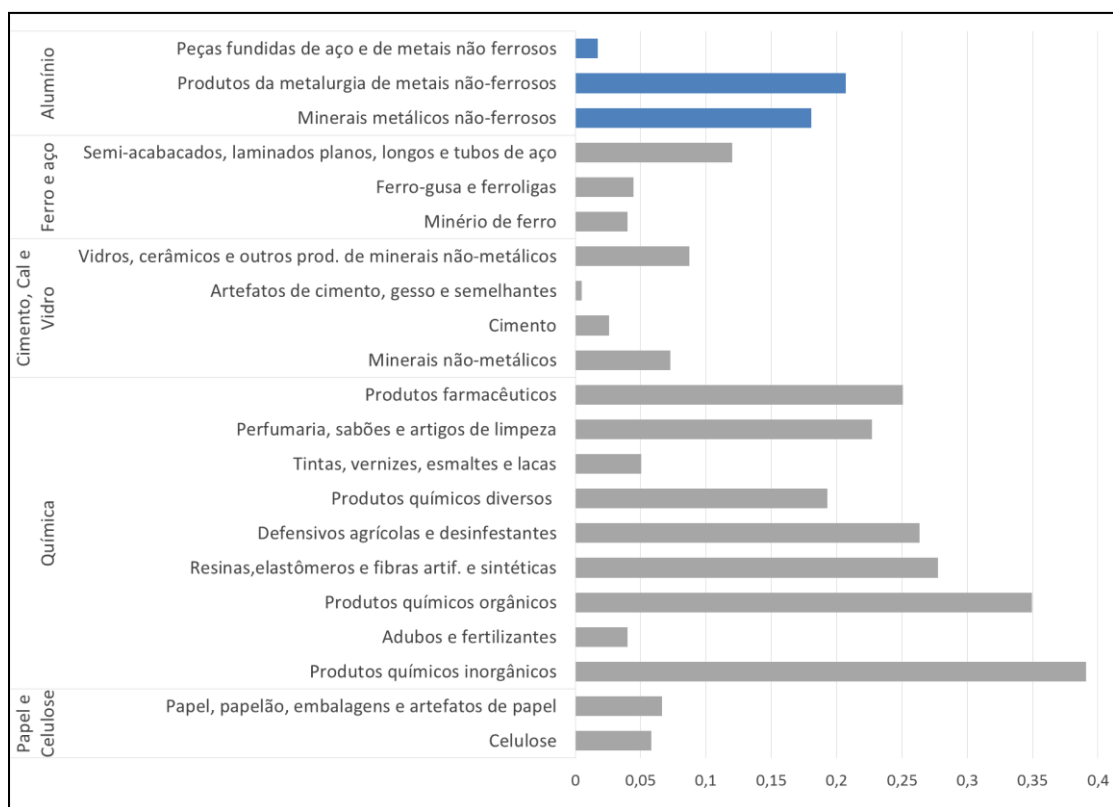


Figura 140: Coeficiente de penetração das importações de Alumínio, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

3.5.5 REFERÊNCIAS

- ABAL, 2017c. Estatísticas. Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em: <http://www.abal.org.br/estatisticas/nacionais/>. Acesso em: 04/2017
- ABAL, 2017d. Mercado Brasileiro de Alumínio: 2016 e 2017p. Associação Brasileira do Alumínio, 2017.
- Alumina Rondon, 2017. O Projeto. Disponível em: <http://www.aluminarondon.com.br/pt-BR/Projeto/Paginas/default.aspx>. Acesso em 04/2017.
- Bain And Company, 2013. ALUMÍNIO NO BRASIL: TRANSFORMAÇÕES NOS ÚLTIMOS 15 ANOS. Produzido por Marcelo Massarente, Antonio Serrano, Leticia Machado, Luciana Hara e Victor Frazão. São Paulo, 2013.
- BNamericas, 2014. BHP Billiton to curtail aluminum capacity at Brazil's Alumar smelter. Disponível em: <http://www.bnamericas.com/en/news/metals/bhp-billiton-to-curtail-aluminum-capacity-at-brazils-alumar-smelter>. Acesso em 05/2017.
- CARDOSO, J. G. R.; CARVALHO, P. S. L.; FONSECA P. S. M.; SILVA, M. M.; ROCIO, M., A. R., 2011. A indústria do alumínio: estrutura e tendências. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.33, p. 43-88, Março de 2011.
- CBA, 2017. Quem somos. Companhia brasileira de alumínio. Disponível em: <http://www.aluminiocba.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 04/2017.
- CNI, 2012. A sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio. Encontro da Indústria para a Sustentabilidade. Confederação Nacional da Indústria e Associação Brasileira do Alumínio. Brasília, 2012
- DNPM, 2017. Publicações - Sumário Mineral 2009 - 2015. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/acervo/publicacoes>. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2015. Acesso em 04/2017
- EPE, "Nota Técnica DEA 02/09 - Caracterização do uso da Energia no Setor Siderúrgico Brasileiro," Rio de Janeiro, 2009.
- GUILHOTO, J. J. M., 1994, "Índices de ligações e setores-chave na economia brasileira: 1959/80", Pesquisa e Planejamento Econômico, v. 24, pp. 287-314.
- Hydro, 2017. Operações no Brasil, Barcarena. Disponível em: <http://www.hydro.com/pt-BR/a-hydro-no-brasil/operacoes-no-brasil/barcarena/>. Acesso em: 04/2017
- IBGE, 2014. Cadastro Central de Empresas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/emp/empresas/2014>
- IBGE, 2015. Matriz insumo-produto: Brasil 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/matrizinsumo_produto/2010/default.shtm
- Latasa, 2014. Produção e consumo de alumínio no país têm retração inédita. Disponível em: <http://www.latasa.ind.br/pt/noticias/producao-e-consumo-de-aluminio-no-pais-tem-retracao-inedita/108-producao-e-consumo-de-aluminio-no-pais-tem-retracao-inedita>. Acesso em 04/2017.
- MCGILVRAY, J., 1977, Linkages, key sectors and development strategy. In.: Leontief, W. (Ed.). Structure, system and economic policy. Cambridge: University Press.

MME, 2017. Anuário estatístico do setor de transformação de não-metálicos, 2012 – 2016: Vidros. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>. Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2017.

MRN, 2017. Sobre a MRN: Perfil. Mineração do Rio Norte. Disponível em: <http://www.mrn.com.br/pt-BR/Sobre-MRN/Perfil/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 04/2017

NOVELIS, 2017. Newsroom. Disponível em: <http://news.alcoa.com/>. Acesso em: 09/2017

_____, 2014. Alcoa to Curtail 147,000 Metric Tons of Aluminum Smelting Capacity in Brazil.

_____, 2015. Alcoa to Close Poços Smelter in Brazil

_____, 2015. Alcoa to Curtail Smelting Capacity in Brazil as Reshaping of Upstream Portfolio Continues

Statista, 2017. Aluminum - leading companies worldwide by production output 2016. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/280920/largest-aluminum-companies-worldwide/> Acesso em: 04/2017.

USGS, 2017. Mineral Commodity Summaries, 2010-2017. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2017. Acesso em 04/2017

WWF, 2017. Medidas Baseadas no Mercado no Transporte Marítimo das Exportações Brasileiras. WWF-Brasil, Brasília, abril de 2017.

3.6 ANÁLISE COMPARATIVA

Com base nos indicadores calculados a partir dos dados da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), e da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS, fornecidas oficialmente pelo IBGE (2017) e pelo Ministério do Trabalho, é possível realizar algumas análises comparativas entre os resultados dos subsetores industriais selecionados do estudo: Papel e Celulose, Química, Cimento, Cal, Vidro, Ferro e Aço e Alumínio.

No que tange aos indicadores de caracterização geral, podemos observar os setores mais relevantes em termos de VBP e VA, possibilitando a análise da importância dos subsetores alvo do estudo em relação à indústria de transformação. Na Figura 141, é possível observar que, no ano de 2010, o subsetor Química apresentou a maior participação (10,2%) em relação ao VBP total da indústria de transformação, seguido de Ferro e Aço (7,4%) e Cimento, Cal e Vidro (4%). Esses três setores responderam por cerca de 20% do VBP da indústria de transformação, totalizando R\$ 430 bilhões.

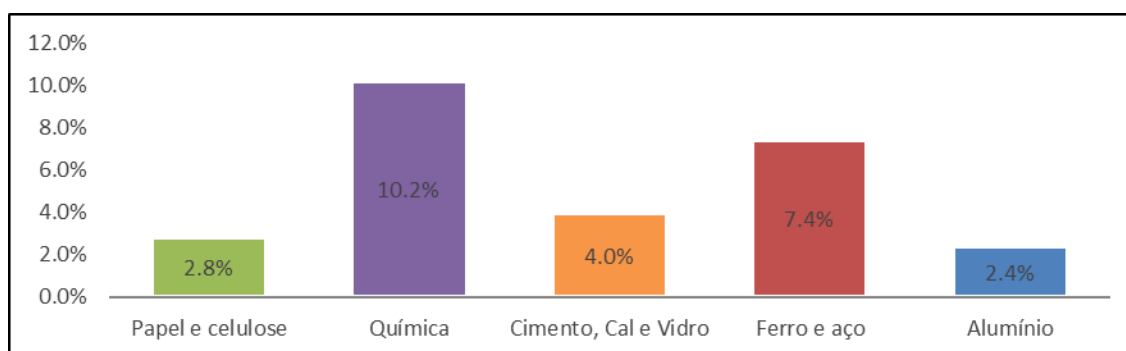


Figura 141: Participação do VBP dos subsetores selecionados do estudo na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Na Figura 142, é possível observar a participação do VA dos subsetores selecionados do estudo em relação ao VA total da indústria de transformação. Nesse caso, destaca-se o subsetor Ferro e Aço, com 10,8%, seguido do setor Química (10,1%), que, juntos, responderam por cerca de 20% do VA da indústria de transformação, totalizando cerca de R\$ 100 bilhões em 2010. A produção do subsetor Ferro e Aço, portanto, agregou maior valor aos produtos finais da indústria de transformação, por meio de fatores de produção e matérias-primas, do que os demais setores.

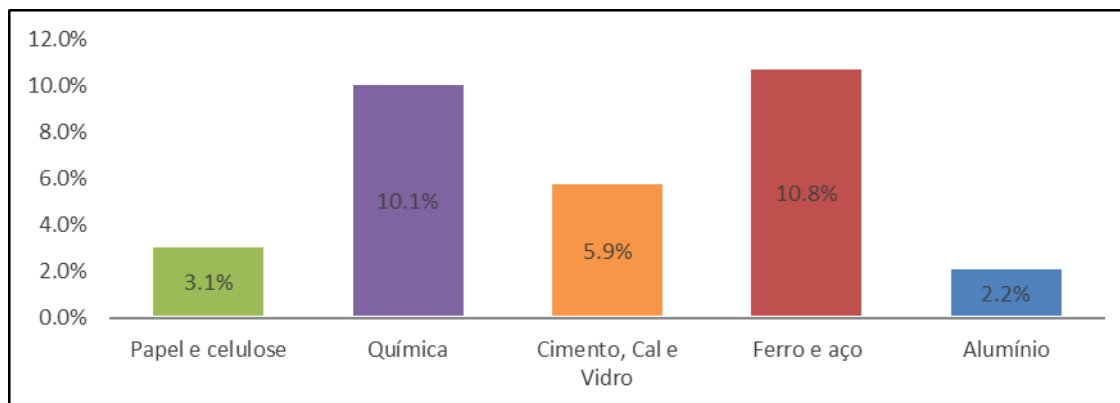


Figura 142: Participação do VA dos subsetores selecionados do estudo na indústria de transformação, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Ademais, os requisitos diretos em termos de Excedente Operacional Bruto (EOB)⁵⁸ para produzir uma unidade monetária das atividades de cada subsetor podem ser visualizados na Figura 143. Este indicador pode ser interpretado como uma aproximação da margem de lucro do setor. É possível observar que *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (Ferro e Aço 1) foi a atividade que apresentou a maior margem dentre as atividades dos setores selecionados do estudo, alcançando cerca de 58%. Destacam-se também *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos* (Química 4) e *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 1), com 31% e 23%, respectivamente. As atividades com menores indicadores pertencem aos setores Química, Alumínio e Ferro e Aço: *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* (6%), *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (6,5%), *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* e *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (8%).

⁵⁸ O saldo do valor adicionado deduzido das remunerações pagas aos empregados, dos rendimentos dos autônomos e dos impostos líquidos de subsídios. É uma medida do excedente gerado pela produção antes da dedução de quaisquer encargos na forma de juros, rendas ou outros rendimentos de propriedade a pagar sobre ativos financeiros, terrenos ou outros ativos tangíveis.

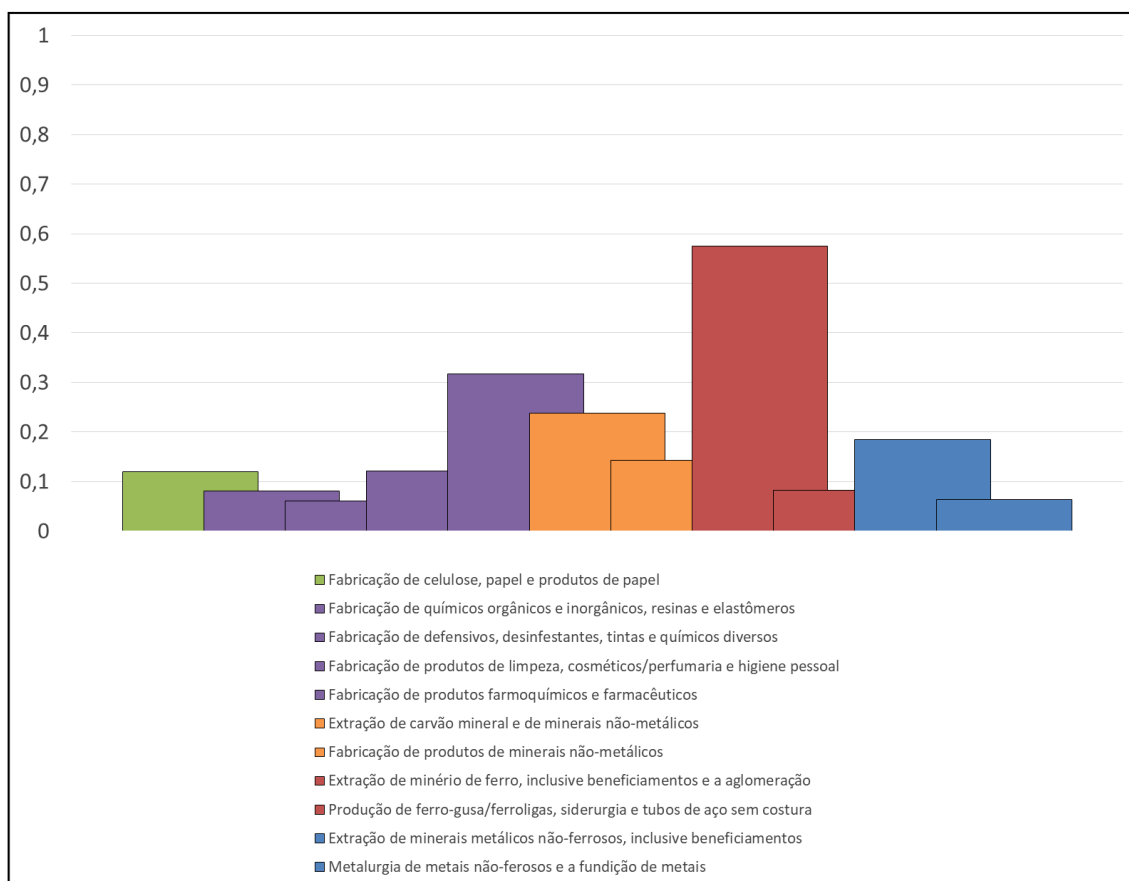


Figura 143: Coeficiente direto do EOB para as atividades dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

No que tange a participação relativa dos setores no número de pessoas ocupadas na indústria, é possível observar que, dentre os setores industriais selecionados do estudo, o setor Química representou cerca de 38% do total de pessoas ocupadas, totalizando cerca de 450 mil. Destacam-se também os setores Ferro e Aço (23%) e Papel e Celulose (17%). Em relação ao total de pessoas ocupadas na indústria de transformação, o emprego de pessoas no setor Química representou cerca de 5,1%, seguido de 3,0% no setor Ferro e Aço e 2,3% no setor Papel e Celulose. Esses três setores juntos responderam por cerca de 10% do total de empregos na indústria de transformação, totalizando cerca de 1 milhão de pessoas em 2014.

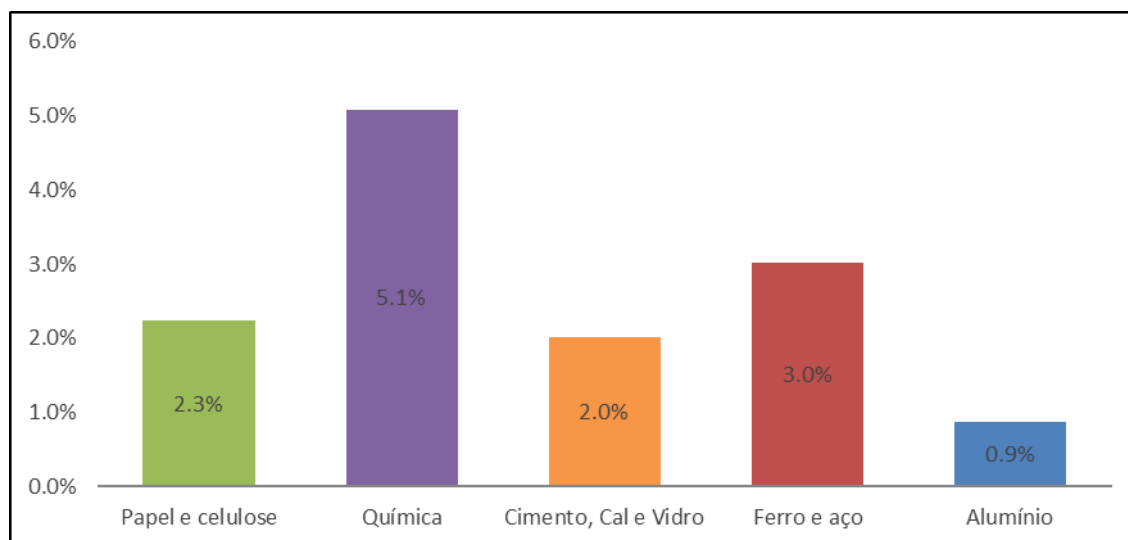


Figura 144: Participação do número de pessoas ocupadas dos setores selecionados do estudo na indústria de transformação em 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

No que tange aos indicadores de grau de concentração, índices de concentração econômica a partir do pessoal ocupado total das maiores empresas (IBGE, 2014) mostram que, dentre os setores industriais selecionados do estudo, os índices de Razão de Concentração médios (CR4, CR6 e CR12) das atividades do setor Ferro e Aço são os maiores, alcançando 56,93, grau de concentração esperado para um setor que opera com recursos naturais e larga escala de produção. O setor Alumínio também apresenta altos índices médios de CR. Dentre os setores de baixa concentração econômica, pode-se destacar Cimento, Cal e Vidro com CR12 médio de 8,05, contudo ressalta-se que numa análise mais detalhada (seção 3.3.2), o setor Cimento, bem como Vidro apresentam elevados graus de concentração, o que mostra que o setor Cal contribui para o reduzir a concentração do setor Cimento, Cal e Vidro. Ademais, os setores Papel e Celulose e Química apresentam índices médios de CR similares, com destaque para Papel e Celulose, mais especificamente a atividade Celulose e outras pastas para a fabricação de papel que apresentou os maiores índices CR dentre todas as atividades dos setores selecionados do estudo.

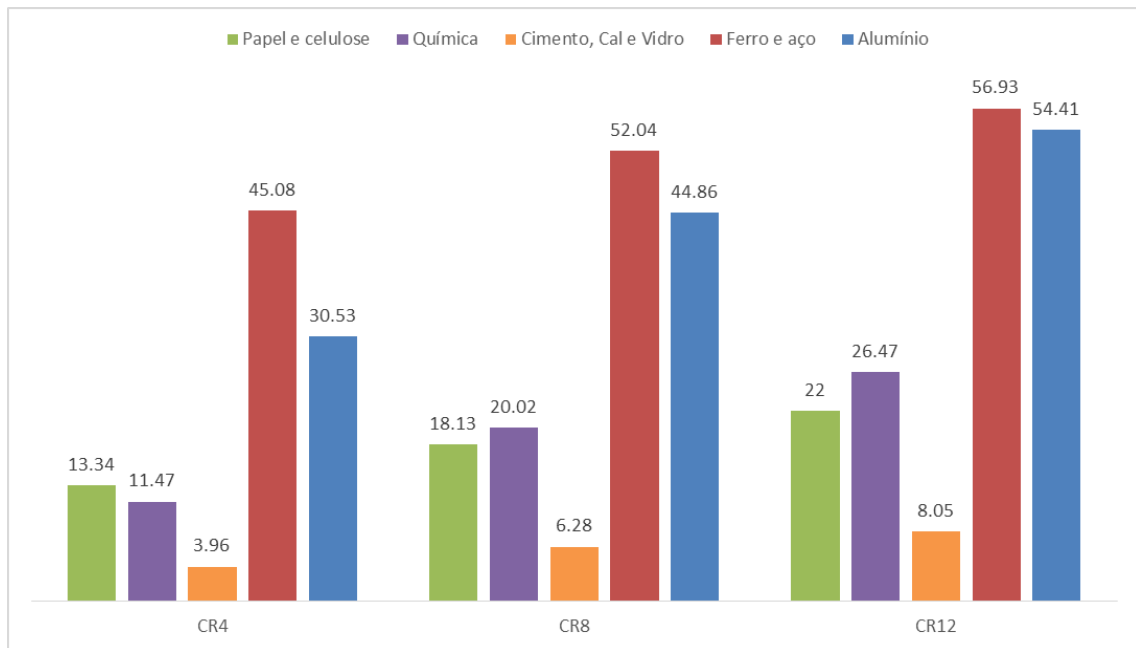


Figura 145 - Índices de Razão de Concentração para os setores analisados

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2014).

Acerca dos indicadores de encadeamento, é possível ver na Figura 146 que *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* (Química 1), *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (Ferro Aço 2), *Fabricação de celulose, papel e produtos de papel* (Papel e Celulose) e *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* (Química 2) apresentaram índices de ligação para frente e para trás superiores a unidade, caracterizando-se atividades-chaves da economia. Pode-se incluir nesse grupo *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 1), *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2), *Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos* (Alumínio 1), *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (Alumínio 2) e *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal* (Química 3), cujas atividades apresentam índices de ligação para trás superiores a unidade, embora tenham índices de ligação para frente inferiores a unidade. Já as atividades *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (Ferro e Aço 1) e *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos* (Química 4) apresentam índices de ligação para frente e para trás inferiores a unidade.

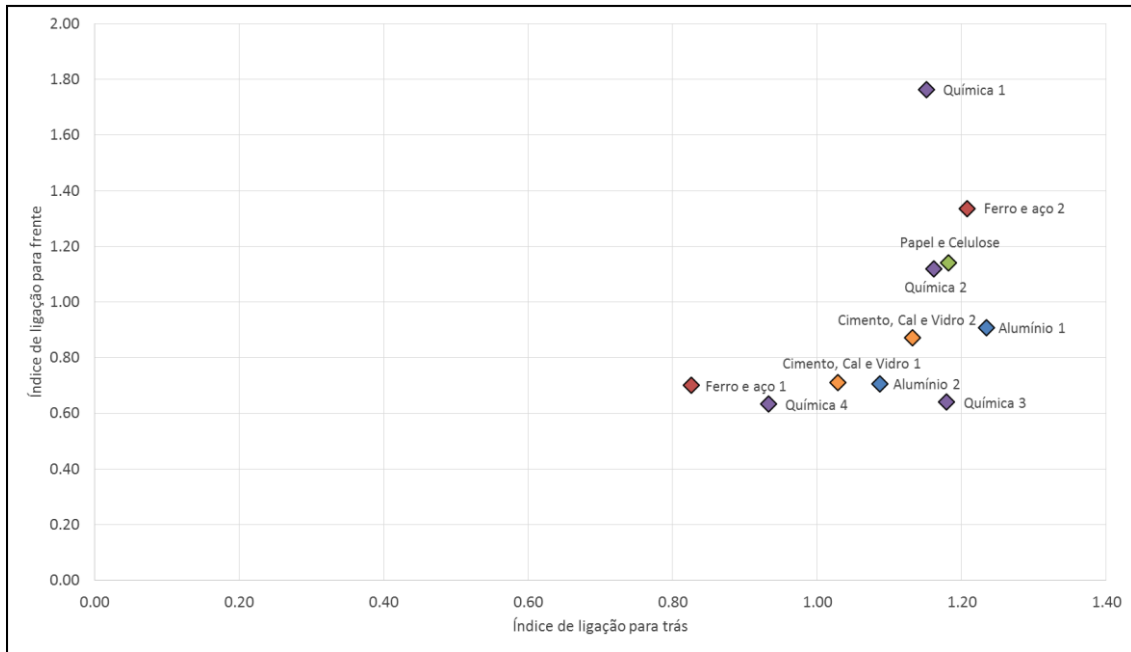


Figura 146: Índices de ligação Rasmussen-Hirschman para os setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

A análise da estrutura econômico-produtiva dos segmentos industriais nacionais também foi realizada através da obtenção de multiplicadores totais (tipo II) setoriais: de renda, de produção, de emprego e tributário. Pode-se observar na Figura 147, os multiplicadores de renda e de produção dos setores selecionados do estudo. Em 2010, o multiplicador de renda médio da economia foi de 3,94, de modo que *Fabricação de celulose, papel e produtos de papel* (Papel e Celulose), *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* (Química 1), *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* (Química 2), *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal* (Química 3), *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (Ferro e Aço 1), *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (Ferro Aço 2), *Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos* (Alumínio 1) e *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (Alumínio 2) apresentaram multiplicadores de renda superiores à média. Destacam-se Química 1, Ferro e aço 2 e Alumínio 2 como as atividades que mais geram remunerações em toda a economia, considerando efeitos diretos, indiretos e induzidos para cada aumento de R\$ 1 milhão nas remunerações das atividades. *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos* (Química 4), *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 1) e *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2) apresentam multiplicadores de renda abaixo da média nacional.

Em termos de produção, o multiplicador de produção médio da economia foi de 4,39 em 2010. *Fabricação de celulose, papel e produtos de papel* (Papel e Celulose), *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal* (Química 3), *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2) e *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais*

(Alumínio 2) apresentaram multiplicadores acima da média. Destacam-se *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (Alumínio 2) e *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (Cimento, Cal e Vidro 2) que, para cada demanda final de R\$ 1 milhão, é necessária uma produção total da economia de R\$ 4,48 milhões e R\$ 4,57 milhões, respectivamente.

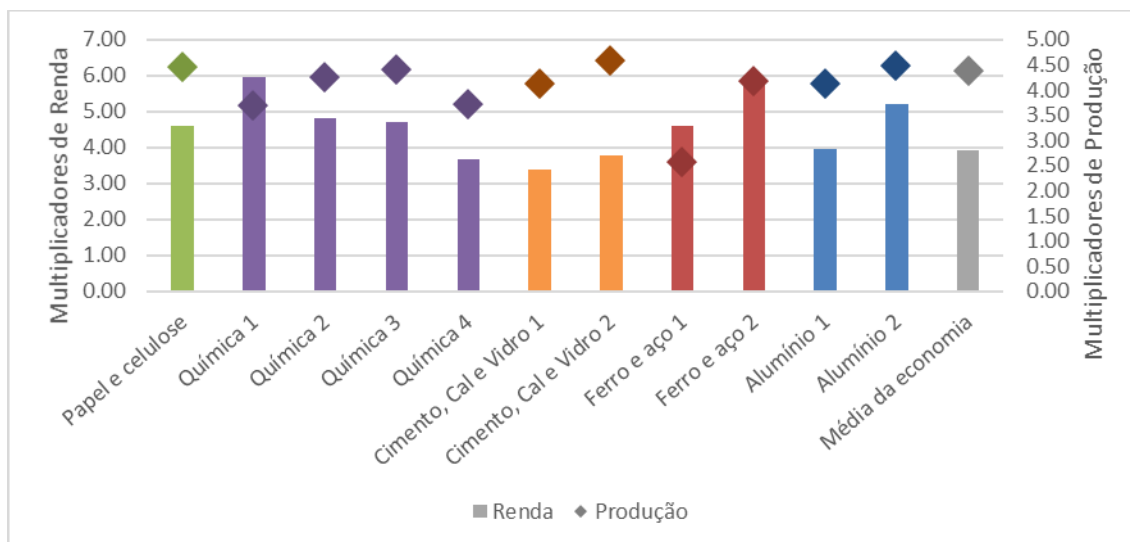


Figura 147: Multiplicadores de renda e de produção para os setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Pode-se observar na Figura 148 os multiplicadores de emprego e tributários dos setores selecionados do estudo. Em 2010, o multiplicador de emprego médio da economia foi de 11,28, de modo que *Fabricação de celulose, papel e produtos de papel* (Papel e Celulose), *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* (Química 1), *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* (Química 2), *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos* (Química 4), *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (Ferro e Aço 1), *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (Ferro Aço 2) e *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (Alumínio 2) apresentaram multiplicadores de renda superiores à média. Destacam-se *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros* (Química 1), *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (Ferro e Aço 1) e *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (Ferro Aço 2), as quais, para cada aumento de 1 emprego nas atividades, seriam gerados cerca de 27, 27 e 23 novos empregos em toda a economia, respectivamente.

Em termos de tributos, destacam-se *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura* (Ferro Aço 2) e *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* (Alumínio 2), além de *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos* (Química 2), as quais, para cada aumento de R\$ 1 nos tributos das atividades, seriam gerados cerca de R\$ 4,00 de receitas de impostos, líquidos de subsídios, sobre a produção e a importação em toda a economia.

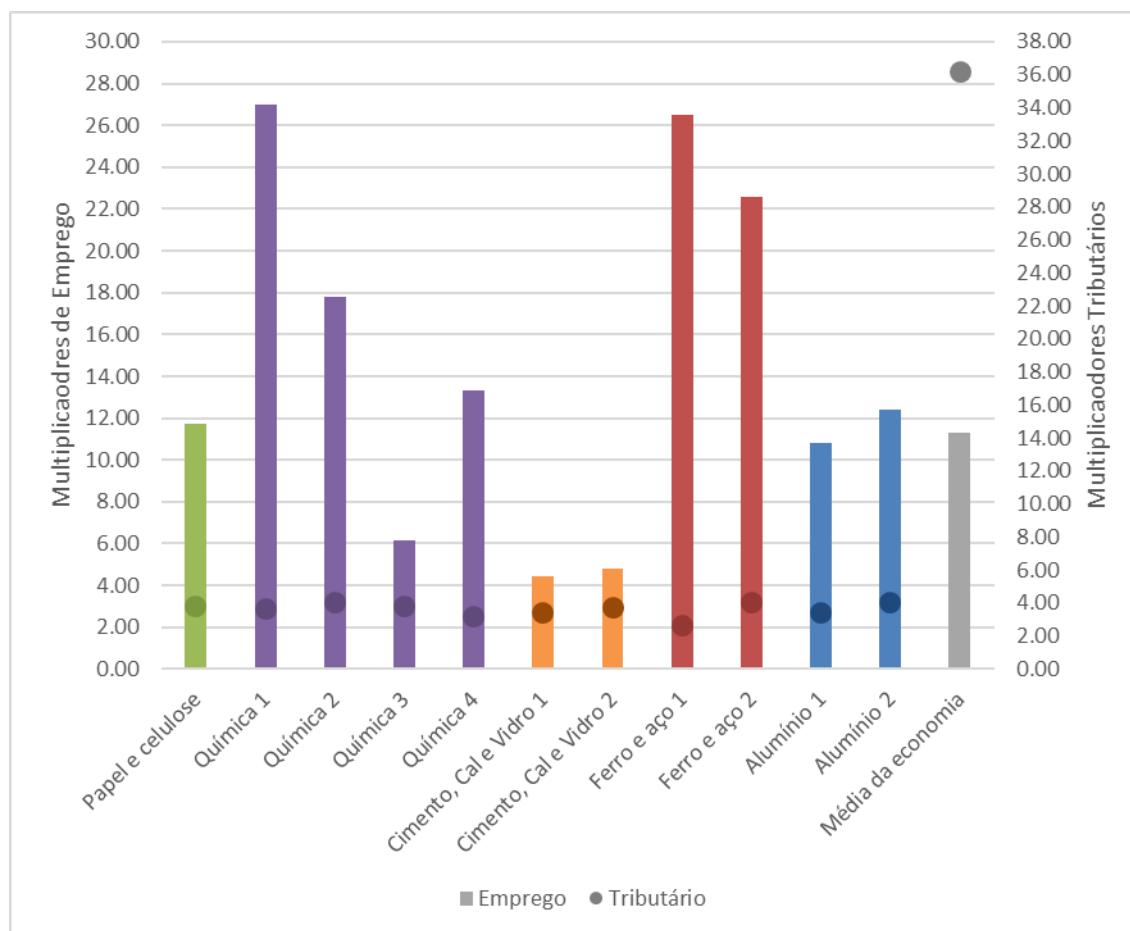


Figura 148: Multiplicadores de emprego e tributários para os setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Com o intuito de verificar possíveis impactos sobre a competitividade setorial, é possível observar na Figura 149 a participação das exportações na produção das atividades dos setores selecionados do estudo. Em 2010, *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração* (Ferro e Aço) foi o segmento mais vulnerável dentre os segmentos dos setores selecionados do estudo, com 89% de exportações por unidade de produção. Mais abaixo está a *Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos* (Alumínio), a qual representou o segundo segmento mais vulnerável em relação aos setores selecionados do estudo, com 34% de exportações por unidade de produção. Ainda dentro do setor Alumínio, *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais* aparece como a terceira atividade mais vulnerável, com 31%. *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* e *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos* (pertencentes ao subsetor Cimento, Cal e Vidro) apresentaram os menores coeficientes de exportação, ambos com 6% de exportações por unidade de produção, e, portanto, menos vulneráveis do que os demais.

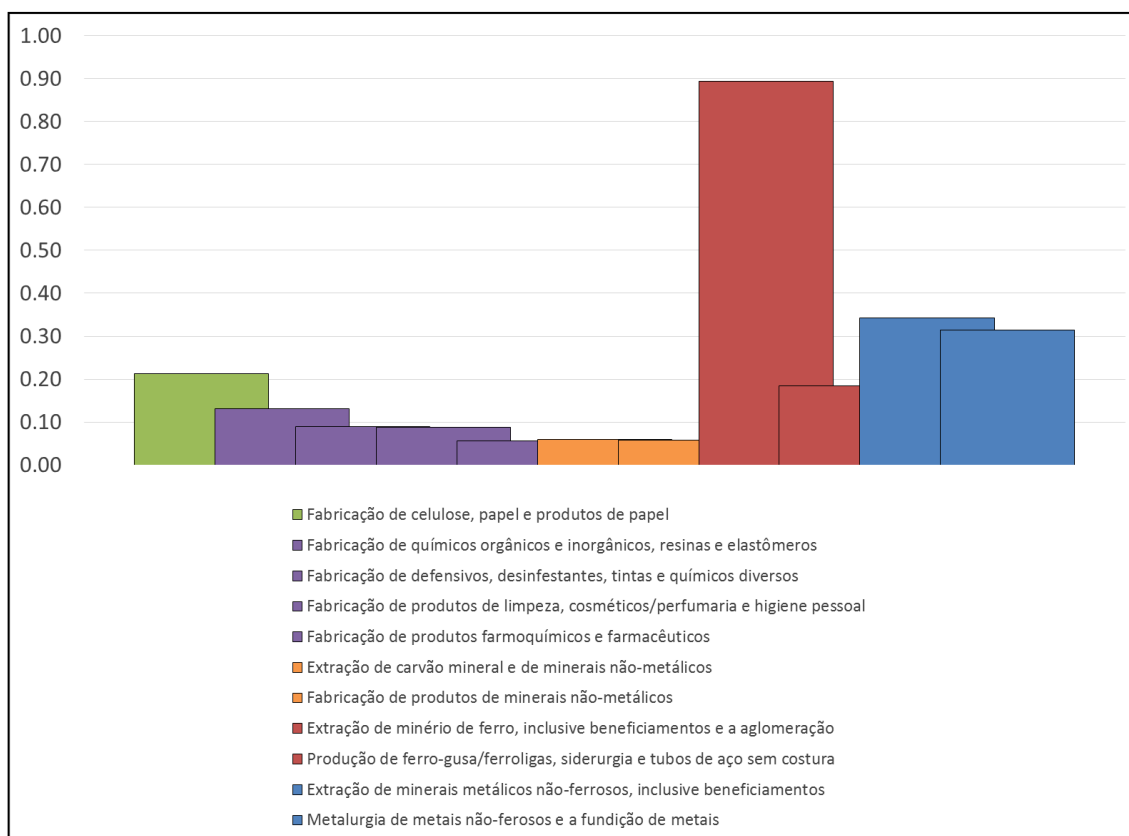


Figura 149: Participação das exportações na produção das atividades dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

Ademais, é possível analisar a parcela da oferta interna atendida pelas importações dentre as atividades dos setores selecionados do estudo. A média dos coeficientes de penetração de importação dos setores industriais selecionados do estudo foi de 14%, em 2010. A indústria química apresenta os maiores coeficientes de penetração das importações em relação aos demais setores selecionados do estudo: *Produtos químicos inorgânicos*, *Produtos químicos orgânicos* e *Resinas, elastômeros e fibras artificiais e sintéticas*, os quais apresentaram altos coeficientes de penetração de importação, 39%, 34% e 27%, respectivamente, indicando elevada vulnerabilidade ao mercado externo. O setor de alumínio também apresenta atividades com alta vulnerabilidade ao mercado externo, caso de *Minerais metálicos não-ferrosos* e *Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos* com 18% e 20%, respectivamente. Por outro lado, as atividades dos setores como Cimento, Cal e Vidro e Papel e Celulose apresentaram coeficientes abaixo de 10% e, portanto, são menos vulneráveis do que os demais.

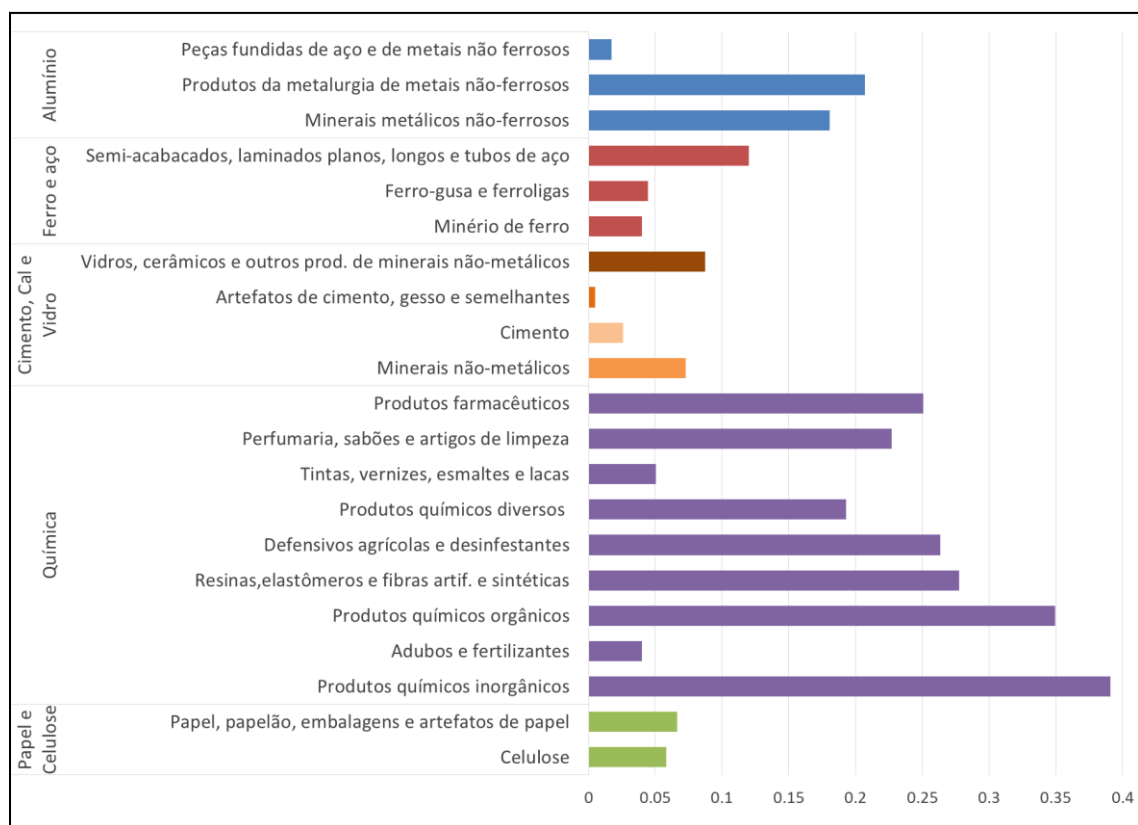


Figura 150 : Coeficiente de penetração das importações das atividades dos setores selecionados do estudo, 2010

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2015).

4 MAPEAMENTO DE POLÍTICAS E IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS INSTRUMENTOS

As mudanças climáticas têm sido identificadas como um dos maiores desafios econômicos e políticos enfrentados pela economia mundial. Tal fato se deve em parte à necessidade de se conciliar a natureza global do problema com a ação a nível regional, nacional e/ou local (WORLD BANK GROUP, 2016; KNIGHT, 2011). Os seus impactos têm ocupado cada vez mais um papel central nas discussões políticas, econômicas, sociais e ambientais. Isso ocorre à medida que os países, ao sinalizarem a transição para um modelo de desenvolvimento baseado em uma economia de baixo carbono, vêm buscando soluções e mecanismos para reduzir as emissões de gases efeito estufa (GEE), que sejam técnica e economicamente viáveis, e cuja implementação contribua para o desenvolvimento sustentável (MARGULIS & DUBEUX, 2010; BANCO MUNDIAL, 2010).

Assim, com a pressão sobre os governos para “descarbonizarem” urgentemente a economia global, tomadores de decisão políticos têm se voltado para soluções de mercado visando a reduzir a intensidade de carbono da economia (ICAP, 2016; PERTHUIS & TROTIGNON, 2014; SEROA DA MOTTA, 2011; HASSELKNIPPE, 2003). No cenário internacional, observa-se um forte debate sobre as alternativas das políticas e dos instrumentos a serem utilizados para precificar o carbono, de modo a sinalizar aos agentes econômicos uma trajetória de desenvolvimento pautado em baixo carbono.

À disposição dos formuladores de políticas públicas há medidas de comando-e-controle e instrumentos de mercado, tais como a tributação de emissões – *carbon tax* – e a comercialização de permissões para emissão de GEE – *cap-and-trade* (GVCES, 2013a). Conforme destacam ICAP (2016), *World Bank Group* (2016) e Fankhauser *et al.* (2010), determinar um preço sobre o carbono é fundamental para a política climática, de tal modo que distintos desenhos de políticas climáticas vêm sendo desenvolvidos pelos países, sobretudo levando em conta as especificidades nacionais e regionais, bem como a dinâmica de cada setor.

Ao se analisar o caso particular do Brasil, após a ratificação do Acordo de Paris e da elaboração da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC em inglês) brasileira, verifica-se que uma série de oportunidades emerge para a economia nacional. Do ponto de vista do setor industrial, destacam-se a elevação da produtividade do setor, novas políticas, instrumentos de financiamento e inovações tecnológicas. Entretanto, desafios também se fazem presentes neste setor, tais como os elevados custos e o estágio incipiente de algumas tecnologias, a necessidade de adaptabilidade destas tecnologias às plantas brasileiras e a dificuldade de contratação de empréstimos e financiamentos pelas empresas (CEBDS, 2017).

Ressalta-se que o setor industrial brasileiro possui um elevado grau de encadeamento econômico com outros setores⁵⁹ e é altamente sensível a políticas macroeconômicas (EPE, 2016). Nos últimos dez anos, segundo CEBDS (2017), a competitividade da indústria nacional caiu consideravelmente no cenário global, tendência evidenciada pela deterioração de indicadores como a participação do país nas exportações mundiais de produtos manufaturados, sua participação no valor adicionado mundial de manufaturados e a produtividade do trabalho efetiva. Apesar desta contração, a indústria mantém sua relevância para a economia nacional: em 2015, a indústria respondeu por 15,7% dos empregos no país e por 38,1% das exportações nacionais (CNI, 2015).

Em termos de emissão de GEE, a indústria brasileira – compreendendo o consumo energético e processos industriais – representa 22% das emissões totais do Brasil (MCTI, 2016a). O Decreto nº 7.390/2010, que regulamenta a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), definiu quatro grandes grupos que representam os setores econômicos, dentre eles “Processos Industriais e Tratamento de Resíduos” (neste caso, não se incluem as emissões derivadas de combustão na indústria, mas sim emissões de processo industrial). Para este setor, apresentou-se a projeção de emissões e estimou-se que ela seria de 234 MtCO₂e em 2020 (BRASIL, 2010b). Entretanto, de acordo com os dados recentes do projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil”, a estimativa de emissões em 2020 do setor industrial é de aproximadamente 186 MtCO₂e (MCTI, 2016b), o que sinaliza uma superestimação das emissões do Decreto, sobretudo como resultado da situação econômica recessiva em que o país se encontra.

⁵⁹ Como, aliás, o Relatório de Caracterização Setorial dos segmentos industriais analisados neste estudo detalhou (Produto entregue em abril de 2017).

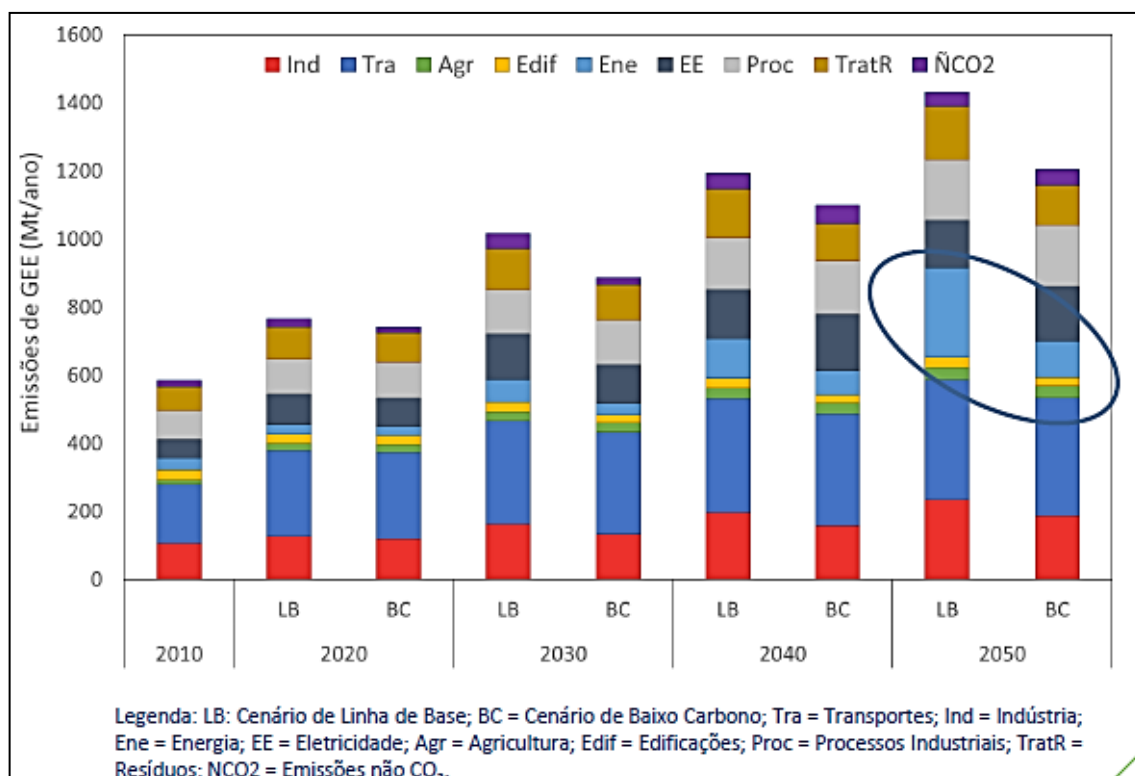


Figura 151: Estimativas e trajetórias de emissão para o setor industrial (2010-2050)

Fonte: MCTI (2016b).

De qualquer forma, ressalta-se que existem ainda oportunidades regulatórias, incluindo políticas de incentivo à eficiência de processos e inovações tecnológicas (P&D), a implementação de instrumentos regulatórios específicos – como a própria precificação de carbono no setor industrial – e o estabelecimento de padrões tecnológicos, todos direcionadores fundamentais para o desenvolvimento de um parque industrial de baixo carbono no Brasil. A lacuna a ser preenchida se traduz em analisar de que forma a política de precificação de carbono impacta o setor e seus subsetores, além de compreender como ela interage com as demais políticas existentes, por exemplo, política industrial, comercial e tributária.

Tomando-se a política tributária como exemplo, faz-se importante verificar os instrumentos que já existem na legislação tributária federal, estadual e municipal redirecionando a utilização dos mesmos para conceder os estímulos corretos a uma produção com baixa emissão de carbono. Ao mesmo tempo, é premente a necessidade de se eliminar os subsídios pagos a atividades claramente intensivas na emissão de GEE.

A análise destes impactos e *trade-offs* das políticas, e seus respectivos instrumentos, que impactam no setor industrial precisam ser avaliadas com mais detalhes, visando não apenas a redução das emissões de GEE no setor, mas também o impacto sobre a competitividade do mesmo. Destaca-se ainda que a implementação de políticas de precificação de carbono em cada um dos subsetores da indústria pode gerar impactos em outros setores econômicos de forma indireta, haja vista as conexões

intersectoriais. Dessa forma, o escopo de setores poderá ser ampliado em decorrência de eventuais interações indiretas.

Visando a analisar especificamente o setor industrial brasileiro, a estrutura analítica deste relatório está organizada nos cinco seguintes grupos de políticas, as quais serão analisadas a partir de seus respectivos instrumentos: (i) políticas de estímulos setoriais, (ii) políticas de uso racional de recursos, (iii) política tributária, (iv) políticas para o clima e (v) política ambiental com ênfase em controle de emissões atmosféricas, conforme detalhamento que se segue.

Esta organização se fundamenta no princípio de que, inicialmente, devem-se analisar a política de estímulos específicos a setores industriais, por meio de instrumentos de compras governamentais, de conteúdo local, dentre outros. Segue-se à análise da política de uso racional de recursos para o setor industrial, via programas governamentais, investimentos em P&D e programas de financiamento. Em seguida, analisa-se a política tributária e como ela se relaciona e interage com o setor industrial brasileiro, fomentando-o ou desincentivando-o, observando-se, desde então, possíveis oportunidades à precificação de carbono – detalham-se aqui também os instrumentos existentes de tributação para atingir os objetivos da política tributária brasileira com ênfase nos setores industriais estudados⁶⁰. Por fim, discutem-se as políticas para o clima e suas respectivas relações com o setor industrial nacional, por exemplo via planos e fundos nacionais e setoriais, além da própria NDC brasileira, além da política ambiental com ênfase no controle das emissões atmosféricas de fontes fixas e com abrangência de impacto local (por exemplo, NOx, SOx e material particulado).

4.1 POLÍTICA DE ESTÍMULOS SETORIAIS

A política de estímulos setoriais apresenta efeitos de primeira ordem diretos sobre os subsetores da indústria brasileira. Dessa forma, são analisadas as políticas e os instrumentos já existentes no Brasil que têm como objetivo primeiro promover um dado subsetor específico, por exemplo, por meio das políticas de apoio a PD&I e financiamento à indústria, de compras governamentais, de conteúdo local, dentre outras. Note-se aqui que o estímulo setorial de que trata este capítulo não objetiva metas ambientais e/ou de uso racional de recursos, mas sim metas *per se* de estímulo a um determinado setor, que se justificam em aspectos como comércio internacional, geração de renda e emprego, aumento de competitividade industrial, desenvolvimento local, etc.

⁶⁰ Note-se que é possível que se usem tributos para estímulos setoriais. Neste caso, a política em si não busca objetivos fiscais (tributários), mas setoriais (política de estímulos setoriais). Este documento faz esta distinção.

4.1.1 APOIO A PD&I E À INDÚSTRIA

As atividades de PD&I têm como objetivo ampliar conhecimento aplicado a novos produtos ou processos, bem como aprimorar produtos e processos existentes. Usualmente, tais atividades são realizadas por centros de pesquisa, empresas, universidades ou agências governamentais. As políticas de incentivo a PD&I possuem efeitos diretos e indiretos intersetoriais – aproximando-as, na prática, de políticas industriais estruturantes –, e serão tratadas dentro deste capítulo, que aborda as políticas de estímulo setorial.

Historicamente, estas formas de apoio estão amparadas na transformação do arcabouço jurídico-institucional, iniciada ao final da década de 1990, com a criação dos Fundos Setoriais, e que resultou em um novo conjunto de normas, dentre os quais a Lei da Inovação (Lei 10.973/2004) figura dentre os principais marcos.

A Lei de Inovação foi promulgada no âmbito da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), de 2004, trouxe avanços para as relações de cooperação universidade-empresa, ao estabelecer regras para a partilha de infraestrutura e benefícios econômicos resultantes de inovações; e ao facilitar a transferência de tecnologia e mobilidade dos pesquisadores entre a academia e o setor empresarial (ARAÚJO, 2012). A Lei introduziu a possibilidade de subvenção direta do P&D empresarial de forma não reembolsável, e criou a possibilidade de compras governamentais orientadas por critérios tecnológicos. Em 2016, o Código de CT&I (Lei 13.243/2016) promoveu alterações na Lei da Inovação na tentativa de reduzir obstáculos legais e burocráticos e conferir maior flexibilidade às instituições atuantes no sistema (RAUEN, 2016).

Ainda no âmbito da PITCE, a Lei do Bem (Lei 11.196/2005) trouxe o apoio indireto, por meio de incentivos fiscais, às atividades de PD&I, como será detalhado adiante. Além destas leis, conforme tratado por Mello (2010), a Lei de Informática (Lei 10.176/01) e as mudanças introduzidas na Lei das S/A (Lei 11.683/2007) também implicaram em transformações no tratamento jurídico-institucional das atividades de PD&I.

De acordo com Araújo (2012), a estrutura de governança da política de PD&I está ancorada em três vetores:

- i. o MCTI, sua agência de inovação (FINEP) e a agência de fomento à pesquisa, CNPq;
- ii. o MDIC, que abriga o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), e suas agências BNDES e a ABDI; e
- iii. o MEC e a Capes.

Além destes vetores, há outras instâncias a nível federal e estadual que compõem esta estrutura (Conselhos, Fundações, outros Ministérios, empresas de governo). Em resumo, diversos atores compõem o Sistema Nacional de CT&I, com diversas justaposições hierárquicas e funcionais, na

tomada de decisões estratégicas, no domínio dos instrumentos e na execução das atividades de PD&I planejadas, conforme ilustrado pela Figura 152.

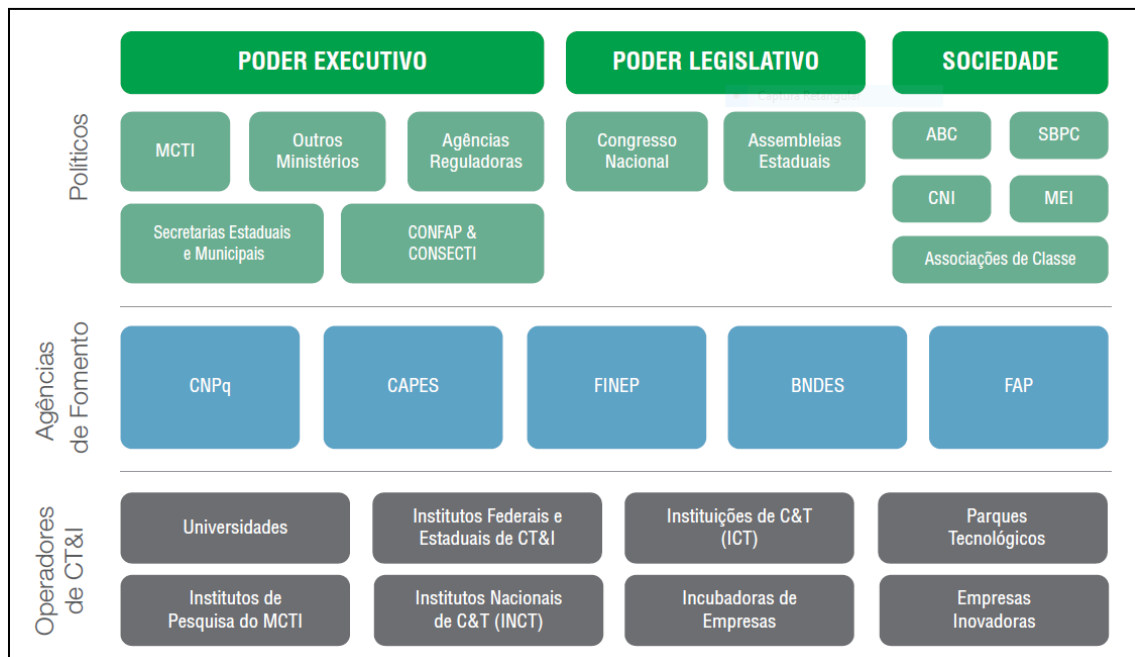


Figura 152 - Principais atores do Sistema Nacional de CT&I

Fonte: BRASIL, MCTI (2016).

Segundo Alvarenga et al. (2012), no Brasil, este conjunto de atores é responsável por três principais formas de apoio às atividades de PD&I:

- i. estímulo e realização de investimentos em infraestrutura básica de CT&I;
- ii. apoio indireto, por meio de incentivos fiscais; e
- iii. apoio direto, por meio de instrumentos econômicos e financeiros diversos.

Estas três formas coexistem, permitindo combinações, como por exemplo, no caso de projetos financiados que contam com a participação de universidades, ou no caso de deduções fiscais para empresas que empreguem doutorandos oriundos da universidade (ARAÚJO, 2012).

Os investimentos em infraestrutura básica de CT&I são a forma mais tradicional de suporte à inovação. Esta forma considera os investimentos em pesquisa básica e formação de recursos humanos, bem como aqueles investimentos realizados na construção de estruturas de apoio à inovação, tais como laboratórios, centros de pesquisa, parques tecnológicos e incubadoras de empresas.

Investimentos em programas para a formação de mão-de-obra também podem ser interpretados como investimentos em infraestrutura básica de CT&I para suporte à inovação. O Pronatec (Programa de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego), por exemplo, é um programa que tem por objetivo ampliar a oferta de cursos de educação técnica profissional e tecnológica, e que utiliza a infraestrutura dos cursos

do Sistema S⁶¹, requalificando trabalhadores e formando novos profissionais. Cabe ressaltar que, no caso dos investimentos em infraestrutura básica de CT&I, o MEC e a Capes destacam-se como principal vetor, com preponderante papel no suporte à inovação em universidades federais e estaduais.

Quanto ao apoio indireto à inovação, no Brasil, o principal instrumento utilizado é o incentivo fiscal a empresas, conforme instituído pela Lei do Bem, que foi criada no âmbito da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), de 2004. Araújo (2012) destaca que o uso de incentivos fiscais a empresas é um instrumento comumente utilizado também em outros países, como Canadá e Holanda, no fomento indireto a PD&I.

A Lei do Bem permite a dedução dos gastos com P&D da base de tributação (lucro real) de IRPJ (Imposto sobre a Renda da Pessoa Jurídica) e CSLL (Contribuição Social sobre Lucro Líquido) na proporção de 160% a 180% para diversas atividades, como a pesquisa básica dirigida, a pesquisa aplicada e o desenvolvimento experimental; a tecnologia industrial básica (incluindo patenteamento de produto ou processo desenvolvido) e os serviços de apoio técnico (incluindo capacitação de recursos humanos a eles dedicados). Ademais, a Lei do Bem também prevê benefícios fiscais a empresas, tais como:

- redução de 50% do IPI na compra de equipamentos destinado a P&D;
- depreciação acelerada de equipamentos, máquinas, aparelhos e instrumentos novos e destinados a P&D;
- amortização acelerada (dedução como custo operacional no período de aquisição de bens intangíveis vinculados exclusivamente às atividades destinadas a P&D);
- alíquota zero do Imposto de Renda Retido na Fonte (IRRF) para remessas ao exterior destinadas ao registro e manutenção de marcas, patentes e cultivares;
- dedução, como despesas operacionais no cálculo do IRPJ e CSLL, dos valores transferidos a micro e pequenas empresas não optantes pelo SIMPLES destinados à execução de P&D;
- dedução de despesas da base do Imposto de Renda das empresas dos setores de tecnologia da informação e da comunicação (a partir de 2008); e

⁶¹ O Sistema S é composto pelos seguintes serviços associados a confederações nacionais: Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC), Serviço Social do Comércio (SESC), Serviço Nacional de Aprendizagem do Cooperativismo (SESCOOP), Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Serviço Social da Indústria (SESI), Serviço Social do Transporte (SEST), Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SENAT) e Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE).

- subvenções econômicas concedidas em virtude de contratações de pesquisadores (mestres ou doutores), desde que empregados em empresas no território nacional para realizar atividades de PD&I.

De acordo com Menezes Filho et al. (2014), o objetivo da Lei do Bem é reduzir os riscos associados ao investimento em P&D por meio de incentivos fiscais setoriais, caracterizando-se pelo uso de incentivos fiscais por parte das empresas, sem a necessidade de apresentação de projeto prévio. Esta característica a diferenciou dos programas de desenvolvimento industrial vigentes durante a década de 1990, por exemplo, os Programas de Desenvolvimento Tecnológico da Indústria (PDTI) e da Agricultura (PDTA).

Em relação aos instrumentos de apoio direto a PD&I, nos últimos anos, o governo federal adotou uma série de políticas industriais estruturantes, transformando sua política industrial para abrigar mecanismos de apoio direto⁶², como por exemplo, a já referida PITCE, de 2004, e a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), de 2008. Em 2011, estas políticas foram incorporadas ao Plano Brasil Maior (PBM), baseada em medidas sistêmicas – como redução de custos, aumento da produtividade etc. –, e setoriais específicas.

Além destas políticas, destacaram-se também o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação 2007-2010 (PACTI) e a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2019 (ENCTI), que substituiu a Encti vigente desde 2012. A Encti constitui a base dos estímulos para a realização de objetivos do PBM relativos à inovação (Menezes Filho et al., 2014). Nos últimos anos, esta política vem sendo prioritariamente executada vetores (i) e (ii) mencionados anteriormente, com destaque para a participação da FINEP e do BNDES. Estas instituições utilizam diferentes instrumentos como forma de apoio direto a PD&I.

4.1.1.1 APOIO A PD&I (FINEP)

Os instrumentos de apoio direto utilizados pela FINEP podem ser classificados em duas principais categorias, segundo os agentes envolvidos:

1. Apoio a empresas:

⁶² Outros instrumentos de apoio direto às atividades de PD&I também foram instituídos pela Lei 12.431/2011, como o Fundo de Investimento em Participações em Infraestrutura (FIP-IE) e o Fundo de Investimento em Participação na Produção Econômica Intensiva em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (FIP-PD&I), com exigência de patrimônio (mínimo de 90%) aplicado em ações, bônus de subscrição, debêntures, conversíveis ou não em ações, ou outros títulos de emissão de sociedades de propósito específico. O Decreto 8.874/2016 regulamentou as condições para aprovação destes FIP. No caso de FIP-IE, os setores envolvidos são aqueles de infraestrutura (logística e transporte; mobilidade urbana; energia; telecomunicações; radiodifusão; saneamento básico; e irrigação). Quanto ao investimento em projetos de PD&I, segundo o referido Decreto, a abrangência será definida “de acordo com as diretrizes definidas nas políticas de ciência, tecnologia e inovação e de desenvolvimento industrial”.

- Programas de venture capital
 - Inova Brasil - Programa com taxas fixas para os Planos de Investimentos Estratégicos em Inovação.
 - Inovar - É uma parceria da Finep com o Fundo Multilateral de Investimentos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (FUMIN/BID), para promover a estruturação e consolidação da indústria de capital empreendedor no País e o desenvolvimento das empresas inovadoras brasileiras.
 - Apoio financeiro não reembolsável
 - Subvenção Econômica - aplicação de recursos públicos não reembolsáveis diretamente em empresas, para compartilhar com elas os custos e riscos inerentes a atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação.
 - Instrumentos de Renda Variável – apoio a projetos através de instrumentos de renda variável em conformidade com sua disponibilidade financeira e orçamentária da FINEP.
2. Apoio às Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs):
- Financiamento não reembolsável originado das Fontes de Recurso (Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT) para apoio a projetos de Ciência, Tecnologia e Inovação apresentados por ICTs nacionais. A FINEP seleciona os projetos em atendimento às formas de seleção e aos temas definidos pelos respectivos comitês gestores dos Fundos. Nessa modalidade de apoio, é operado o PROINFRA, para apoio a projetos de manutenção, atualização e modernização da infraestrutura de pesquisa de ICTs.

Ademais, a FINEP oferece apoio à cooperação entre empresas e ICTs, através do Sistema Brasileiro de Tecnologia (SIBRATEC), além de outras ações, como o Prêmio Finep de Inovação, patrocínios para a realização de seminários e congressos de CT&I e publicações, e apoio à cooperação internacional entre instituições.

O Plano INOVA Empresa foi lançado em 2013 e conta com forte articulação de ministérios, agências e demais instituições, com destaque para participação conjunta do BNDES. Os programas do Plano INOVA Empresa são operados por meio de editais e englobam diferentes modalidades de apoio, com integração de instrumentos, tais como: crédito, subvenção econômica e recursos não reembolsáveis para projetos em parceria entre Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTIs) e empresas, e investimento em empresas de forma direta ou por meio de fundos, e conta com os seguintes objetivos (FINEP, 2017):

1. Elevação de P&D nas empresas;
2. Incentivo a projetos de maior risco tecnológico;

3. Integração dos instrumentos de financiamento como crédito, subvenção econômica, projetos cooperativos empresa-universidade, recursos não reembolsáveis para centros de pesquisa e universidades e investimento em participação (*start-ups*, *venture capital*);
4. Intensificação do uso do poder de compra do estado;
5. Descentralização do crédito e da subvenção econômica mediante repasses para bancos, agências e fundações regionais e estaduais de fomento à pesquisa para melhor alcançar micro e pequenas empresas; e
6. Redução de prazos e simplificação administrativa.

Segundo Menezes Filho et al. (2014), o Plano INOVA Empresa tem como objetivo a unificação de focos em desafios setoriais e procura dar sentido único à política de inovação. O Plano tem como características: (i) foco em setores estratégicos; (ii) sinergia com programas de inovação; (iii) acesso por meio da “porta única” de entrada, integrando diversos mecanismos de apoio à inovação (crédito, subvenção, não reembolsável e participação de capital); (iv) descentralização institucional para micro e pequenas empresas; e (v) grande escala de recursos, sendo 0,7% do PIB (R\$28,5 bilhões), para 2013 e 2014 (MENEZES FILHO et al., 2014).

Neste sentido, o Plano INOVA Empresa conta com programas para descentralização da subvenção econômica pelas Fundações de Amparo à Pesquisa (Tecnova), para descentralização do crédito para micro, pequenas e médias empresas por intermédios dos bancos de fomento estaduais (Inovacred) e para Parques Tecnológicos, em operação e em implantação (FINEP, 2017).

De acordo com FINEP (2017), o Plano INOVA Empresa contempla diversos setores da economia, através de programas, como o Inova Aerodefesa (Propulsão Espacial, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Identificação Biométrica e SIG-Sistemas de Informações Geográficas e Materiais Especiais); o Inova Agro (Insumos, Processamento, Máquinas e equipamentos para o agronegócio (exceto cana-de-açúcar e derivados); o Inova Energia (Smart Grids) e Transmissão em Ultra-Alta Tensão, Fontes Alternativas, Veículos Híbridos e Eficiência Energética Veicular); o Inova Petro (Tecnologias Aplicáveis em Processamento de Superfície Vasos de Processo, Tecnologias Aplicáveis em Instalações Submarinas Dutos Flexíveis e seus Acessórios, Tecnologias Aplicáveis em Poços e Reservatórios); o Inova Telecom (Comunicações Ópticas, Comunicações Digitais sem fio, Redes de Transporte de Dados, Comunicações Estratégicas, Telessaúde); e o PAISS (Bioetanol de 2ª Geração, Novos produtos de cana-de-açúcar, Gaseificação: Tecnologias, equipamentos, processos e catalisadores).

Dentre os setores industriais selecionados para este estudo, o Plano INOVA Empresa contempla instrumentos de financiamento reembolsável para a indústria química, incluindo farmoquímicos e medicamentos, além da eficiência energética no setor industrial, através dos programas PADIQ, Inova Saúde e Inova Sustentabilidade, conforme detalhado nos itens a seguir.

4.1.1.1.1 QUÍMICA

O Programa de Desenvolvimento e Inovação da Indústria Química (PADIQ) é uma iniciativa conjunta da FINEP e do BNDES que tem como objetivo o apoio a projetos que contemplem o desenvolvimento tecnológico e o investimento na fabricação de produtos químicos. Com total de recursos estimado em R\$ 2,2 bilhões para as operações contratadas⁶³ no período de 2016 a 2019, o PADIQ vai coordenar as ações de fomento à inovação e investimentos produtivos, integrando os instrumentos de apoio disponíveis para o financiamento de projetos para a Indústria Química no país (FINEP, 2017).

Os contratos firmados terão valor mínimo de investimento de R\$ 10 milhões para empresas. Já para ICTs, os recursos serão de no máximo R\$ 20 milhões. De acordo com FINEP (2017), os recursos estão assim distribuídos entre as seis linhas temáticas do Programa: Químicos a Partir de Fontes Renováveis (66%); Materiais Compósitos e Fibras de Carbono (15%); Insumos Químicos para Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (11%); Aditivos para Alimentação Animal (4%); Aditivos Químicos para E&P de Petróleo (3%); e Derivados de Silício (1%).

Além do PADIQ, o Programa Inova Saúde também possui uma linha temática relacionada à Indústria Química. A linha de Biofármacos, Farmoquímicos e Medicamentos envolve projetos de PD&I em farmoquímicos obtidos por processos de síntese química, biotecnológicos e extrativos, para desenvolvimento de medicamentos, além de projetos para o desenvolvimento de intermediários químicos para a indústria farmacêutica. O Programa foi lançado em abril de 2013, com valor ofertado de R\$ 1,9 bilhões, mas com demanda superior (R\$4,7 bilhões), devido à participação de 193 empresas e 13 ICTs (FINEP, 2017).

4.1.1.1.2 OUTRAS INDÚSTRIAS

O Programa Inova Sustentabilidade apoia projetos de inovação, por meio de fomento e seleção de Planos de Negócio, em diversas linhas temáticas, como Saneamento ambiental, Recuperação de Biomas Brasileiros e Fomento às Atividades Produtivas Sustentáveis de Base Florestal, Monitoramento ambiental e prevenção de desastres. O Programa foi lançado em dezembro de 2013, com valor ofertado de R\$ 2 bilhões, mas com demanda superior (R\$ 8,4 bilhões), devido à participação de 259 empresas (FINEP, 2017).

Além destas linhas, o Programa possui a linha Produção Sustentável, que não se restringe a um setor industrial somente. Dentre os projetos de inovação apoiados por esta linha estão a eficiência energética no setor industrial; a produção sustentável e eficiente de carvão vegetal; a prevenção e controle de emissões atmosféricas; o tratamento e redução no uso de substâncias tóxicas ou perigosas; a coleta,

⁶³ FINEP e BNDES possuem participação equivalente nos investimentos do Programa (R\$ 1,1 bi de cada).

o tratamento, a redução e a reutilização de efluentes líquidos industriais; e a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos industriais.

4.1.1.1.3 EDITAIS DE SUBVENÇÃO

Além de crédito e recursos não reembolsáveis, o Plano INOVA Empresa contempla editais de subvenção econômica para a construção civil sustentável (arquitetura e engenharia para habitação social, empreendimentos habitacionais piloto, engenharia para tratamento de esgotos sanitários, Redução da emissão de gases de efeito estufa), e para tecnologia de informação aplicada (computação em nuvem, petróleo, gás e mineração, defesa cibernética, componentes, dispositivos semicondutores e eletrônicos aeroespacial) e tecnologia assistiva para treinamento e/ou a prática de esportes paralímpicos (FINEP, 2017).

Especificamente, em relação aos setores alvo deste estudo, os editais contemplam subvenção econômica para nanotecnologia (em plásticos e borrachas, papel e celulose, HPPC – higiene pessoal, perfumaria e cosméticos) e para biotecnologia em produtos com aplicação na área de cosmética (FINEP, 2017).

4.1.1.2 FINANCIAMENTO BNDES

Como maior Banco de Desenvolvimento (BD) do Brasil, o BNDES apresenta-se como principal instrumento do Governo Federal para o financiamento de longo prazo e investimento em todos os segmentos da economia brasileira.

O apoio do BNDES ocorre por meio de financiamento a investimentos, subscrição de valores mobiliários, prestação de garantia e concessão de recursos não reembolsáveis a projetos de caráter social, cultural e tecnológico. O Banco atua por meio de produtos, programas e fundos, conforme a modalidade e a característica das operações.

De acordo com Relatório de Efetividade 2007-2014 (BNDES, 2015), os dados de entregas (eficácia) e de efeitos alcançados (efetividade) das intervenções apoiadas pelo banco estão organizados por temas-alvo de monitoramento e avaliação. O tema “Infraestrutura” congrega investimentos em geração de energia elétrica, em logística e em desenvolvimento urbano. O tema “Contribuição para o desenvolvimento produtivo” diz respeito ao apoio principalmente à indústria, incluindo a comercialização de máquinas e equipamentos apoiada pelo BNDES Finame e operações de exportações do BNDES Exim, mas também a segmentos do setor de serviços apoiados pelo BNDES, como telecomunicações, economia da cultura, condomínios logísticos e *shopping centers*. Já o tema “Inclusão social e produtiva e sustentabilidade” retrata a atuação do BNDES em ações como concessão de microcrédito, acesso a crédito por micro e pequenas empresas (MPes) e projetos de cunho ambiental. Por fim, o tema “Formação de capacidades empresariais e fortalecimento de estruturas de

capital” visa a apresentar dados sobre o apoio financeiro concedido principalmente por intermédio de participação acionária em empresas e estruturação de fundos de investimento.

Considerando-se o propósito deste trabalho, será analisado apenas o tema “Contribuição para o desenvolvimento produtivo”, que abrange diferentes formas de apoio do BNDES e os mais diversos segmentos industriais existentes na economia brasileira. É possível observar a evolução dos desembolsos realizados pelo BNDES para os setores produtivos do Brasil. A indústria de transformação tem representado uma grande parcela dos investimentos realizados pelo banco entre 2007 e 2016. Em 2010 46% dos investimentos foram para a indústria de transformação, em 2016 essa participação chegou a 32%.

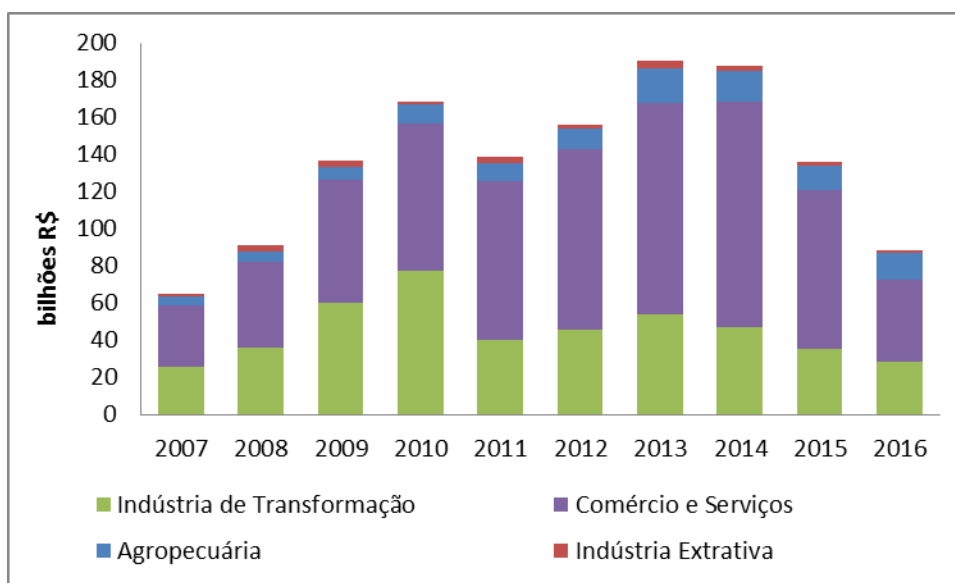


Figura 153 - Desembolsos do BNDES por setor

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2017b).

Com respeito ao aspecto fiscal, o crédito direcionado é viabilizado por meio de subsídios do Tesouro Nacional. Esses subsídios podem ser divididos em duas categorias: i) financeiros (subsídios explícitos), que se referem aos desembolsos efetivos realizados por meio das equalizações de juros (diferença entre a TJLP e a referida taxa de empréstimo) e ii) creditícios (subsídios implícitos), que corresponde à diferença entre o custo de captação do Tesouro Nacional e a remuneração que o mesmo recebe nos empréstimos que concede ao BNDES. A Taxa de Juros de Longo Prazo (TLJP) foi instituída na Medida Provisória nº 684, de 31 de outubro de 1994, sendo definida como o custo básico dos financiamentos concedidos pelo BNDES. A TJLP tem período de vigência de um trimestre-calendário e é calculada a partir dos seguintes parâmetros:

- I - meta de inflação calculada *pro rata* para os doze meses seguintes ao primeiro mês de vigência da taxa, inclusive, baseada nas metas anuais fixadas pelo Conselho Monetário Nacional;

II - Prêmio de risco.

A TJLP é fixada pelo Conselho Monetário Nacional e divulgada até o último dia útil do trimestre imediatamente anterior ao de sua vigência.

Por meio da MP 777/2017 o governo federal propôs a mudança da TJLP por uma nova taxa, a Taxa de Longo Prazo (TLP). A TLP será atrelada à variação do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), apurado e divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), acrescida de uma taxa de juro real prefixada, estabelecida em cada operação de financiamento, de acordo com os rendimentos das Notas do Tesouro Nacional – Serie B (NTN-B) para o prazo de cinco anos. A transição da TJLP para a TLP será gradativa, adotando-se ajustes anuais que convergirão para a nova sistemática no prazo de cinco anos após a entrada em vigor da nova taxa. Essa mudança aproximará as taxas praticadas pelo BNDES das taxas praticadas pelo mercado, mudando as condições de financiamento atuais. Essa medida vale para contratos realizados a partir de 1º de janeiro de 2018 e foi aprovada pelo Senado em 05/09/2017 (SENADO, 2017).

4.1.1.2.1 MINERAIS NÃO-METÁLICOS

O cimento é a matéria-prima principal para a construção de rodovias, pontes, portos, aeroportos, redes de saneamento e abastecimento de água, setores que devem gerar demanda expressiva do produto nos próximos anos. (SNIC, 2014).

Para atender à demanda esperada para os próximos anos, o BNDES aprovou projetos entre 2007 e 2014 que previam aumento de capacidade de produção de 26.973 mil toneladas/ano, 51% em relação à produção observada em 2007 (46.551 mil toneladas/ano). Esses financiamentos não fazem parte de um programa único de incentivos às indústrias de cimento do país. Os projetos aprovados pelo BNDES estão dispersos entre as diversas produtoras de cimento do Brasil, cada qual com prazos e condições negociadas individualmente.

Tabela 61: Participação do apoio do BNDES na indústria de cimento⁶⁴ (2007-2014)

Segmento	Brasil: produção em 2007 (A) (Mil t/ano)	Brasil: aumento de produção entre 2007 e 2014 (B) (Mil t/ano)	Brasil: variação da produção (B/A)	BNDES: capacidade adicionada prevista por projetos apoiados entre 2007 e 2014 (C) (Mil t/ano)
Cimento	46.551	23.800	51%	26.973

Fonte: Adaptado de BNDES (2015).

Nota: Optou-se por comparar nesse caso a capacidade a ser adicionada por projetos apoiados pelo BNDES com a produção do setor em 2007. Como os projetos têm longo prazo de implementação, grande parte dos projetos aprovados no período (coluna C) ainda não se refletiram em

⁶⁴ O relatório BNDES (2015) sumariza as ações do banco em alguns setores, porém não especifica quais projetos adotados e também qual critério de investimento adotado.

aumento de produção (coluna B). Além disso, dados de capacidade instalada não estão disponíveis pelo sindicato setorial. (No relatório BNDES (2015) não é divulgado a informação de quanto desta produção está incluída nos investimentos do BNDES no período.

Ainda que o subsetor Vidro não esteja coberto no tema “Contribuição para o desenvolvimento produtivo” (BNDES, 2015), a indústria vidreira tem sido historicamente apoiada por investimentos do BNDES. Segundo relatório setorial divulgado pelo BNDES (BNDES, 2013), entre 2011 e 2012, o desembolso do banco para o setor de vidros planos e de segurança somou R\$ 324 milhões. As principais empresas do setor, como Cebrace e Saint-Gobain já receberam financiamentos do banco para investir na produção nacional. Em 2013, um financiamento de R\$ 322,2 milhões foi contratado para a implantação da primeira fábrica de vidros planos da japonesa Saint-Gobain, com capacidade de 600 toneladas de vidros planos por dia (BNDES, 2013). O financiamento do BNDES corresponde a aproximadamente 35% do valor total a ser investido (BNDES, 2017).

No setor de embalagens, segundo EXAME (2012) o BNDES aprovou em 2012 financiamento de R\$ 29,2 milhões, 45% do total de investimento estimado, para o projeto de modernização de fornos e instalações das unidades industriais e aumento da capacidade da Nadir Figueiredo, no Rio de Janeiro e em São Paulo. Do total dos recursos a serem financiados, a maior parte dos R\$ 25,8 milhões foi aprovada por meio de operação direta. O restante será repassado por meio da rede de agentes financeiros credenciados.

O mesmo ocorre com o subsetor cal, ou seja, ele também não está coberto no tema “Contribuição para o desenvolvimento produtivo”, que apresenta os dados setoriais (BNDES, 2015). Porém, destaca-se que investimentos, conforme setores consumidores de cal, como o siderúrgico⁶⁵ e da construção civil, podem vir a impactar indiretamente na indústria de cal (SILVA, 2009).

Ambos os setores estão presentes na indústria de construção civil, assim, investimentos realizados nesse segmento geram efeitos indiretos para cimento, cal e vidro. O cartão BNDES está entre as ações feitas pelo banco para ampliar o apoio ao setor de construção civil. Este mecanismo é voltado para micro, pequenas e médias empresas e permite à estas a compra facilitada dos materiais, componentes e sistemas construtivos destinados a obras civis, desde que seus produtos estejam qualificados de acordo com as regras exigidas do programa. Dentre os materiais considerados estão alguns tipos de vidro e cimento (BNDES, 2009).

4.1.1.2.2 FERRO E AÇO

O aço é um insumo estratégico para o país. Os principais consumidores de aço são os setores de construção civil, automotivo e máquinas e bens de capital, que correspondem a cerca de 80% do total demandado no Brasil. Em 2014, a indústria brasileira do aço foi responsável por 2% da produção

⁶⁵ Cerca de 36% do total de cal consumida no Brasil foram destinados ao setor siderúrgico, maior consumidor de cal em 2015 (MME, 2017).

mundial, permanecendo em nono lugar no ranking liderado pela China. Segundo o *World Steel Association* (2015), o mercado de aço é caracterizado, atualmente, por uma situação de sobreoferta e de margens reduzidas, tanto no Brasil quanto no mundo.

Em 2014, o Brasil atingiu o volume exportado de 9.800 mil toneladas de produtos siderúrgicos, um aumento de 21% em comparação a 2013. Do total das exportações brasileiras de aço, em valor US\$ FOB, os aços brutos (semiacabados), que incluem placas, lingotes, blocos e tarugos, representaram 64,4% da pauta de exportações siderúrgicas em 2014.

O BNDES apoiou, entre 2007 e 2014, projetos que correspondem a um aumento da capacidade de produção de aços brutos de 6.700 mil toneladas/ano (20% da produção no início do período), conforme os dados da Tabela 62. O aumento previsto de capacidade dos aços planos em projetos apoiados somou 4.500 mil toneladas/ano (29% em relação a 2007) e dos aços longos de 4.200 mil toneladas/ano (42% em relação a 2007) (BNDES, 2015). Esses financiamentos não fazem parte de um programa único de incentivos às indústrias de aço do país. Os projetos aprovados pelo BNDES estão dispersos entre as diversas produtoras do Brasil, cada qual com prazos e condições negociadas individualmente.

Tabela 62: Participação do apoio do BNDES na siderurgia – aço (2007-2014)

Segmento	Brasil: produção em 2007 (A) (Mil t/ano)	Brasil: diferença de produção entre 2007 e 2014 (B) (Mil t/ano)	Brasil: variação da produção (B/A)	BNDES: capacidade adicionada prevista por projetos apoiados entre 2007 e 2014 (C) (Mil t/ano)	Capacidade adicionada observada entre 2007 e 2014
Aço bruto	33.800	100	0,3%	6.700	10.100
Aços planos	15.700	-1.500	-10%	4.500	-
Aços longos	10.200	500	5%	4.200	-

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2015) e Instituto Aço Brasil. (2013 e 2016).

Nota: Optou-se por comparar nesse caso a capacidade a ser adicionada por projetos apoiados pelo BNDES com a produção do setor em 2007. Além disso, dados de capacidade instalada para aço planos e longos não estão disponíveis pelo sindicato setorial. No relatório BNDES (2015) não é divulgado a informação de quanto desta produção está incluída nos investimentos do BNDES no período. Como os projetos têm longo prazo de implementação, parte dos projetos aprovados no período (coluna C) podem ainda não ter se refletido em aumento de produção (coluna B)

Entre 2007-2014 foi observado um aumento de capacidade de 10.100 mil t/ano⁶⁶ de produção de aço bruto (Instituto Aço Brasil, 2013 e 2016). Os investimentos em aumento de capacidade não refletiram o desempenho da indústria siderurgia no período avaliado. É possível observar que a produção de aço bruto, se manteve relativamente estável entre 2007 e 2014, sendo assim, o que aconteceu foi um decréscimo da taxa de utilização da capacidade da indústria no período (Figura 107).

⁶⁶ Cálculo estimado a partir dos dados de capacidade de utilização divulgados pela indústria no período. Vale ressaltar que não há informação sobre o detalhamento desses aumentos de capacidade, não podendo, portanto, ser conclusivo qual desse montante obteve a participação do BNDES.

4.1.1.2.3 PAPEL E CELULOSE

De acordo com BNDES (2012), a maioria dos grandes projetos ocorridos no setor de papel e celulose, nos últimos dez anos no Brasil teve apoio do BNDES ou do de seu braço de participações, a BNDESPar. De 2001 a 2010, os desembolsos diretos para projetos industriais em celulose (não incluindo a formação da base florestal, investimentos em renda variável ou capital de giro) foi de R\$ 5,4 bilhões, ao passo que para papéis, o montante foi inferior, de R\$ 2,5 bilhões. Tal situação ilustra o menor nível de investimentos em papéis do que em celulose, conforme destacado anteriormente. Dos quatro grandes projetos de celulose ocorridos no país no período, o único que não foi apoiado pelo Banco foi o projeto da Cenibra. Em papéis, o Banco financiou o projeto Ma-1100 da Klabin, porém não participou da linha de I&E da IP em Três lagoas (Ms). Já indiretamente, o Banco desembolsou R\$ 0,3 bilhão para a celulose e R\$ 1,1 bilhão para o setor de papéis. Os desembolsos indiretos⁶⁷ apresentam uma concentração muito maior no setor de papéis do que no de celulose, ao contrário dos desembolsos diretos. A maioria das empresas do setor de papéis no Brasil é de pequeno ou médio porte, com projetos de menor escala, o que muitas vezes inviabiliza a possibilidade de operar diretamente com o BNDES.

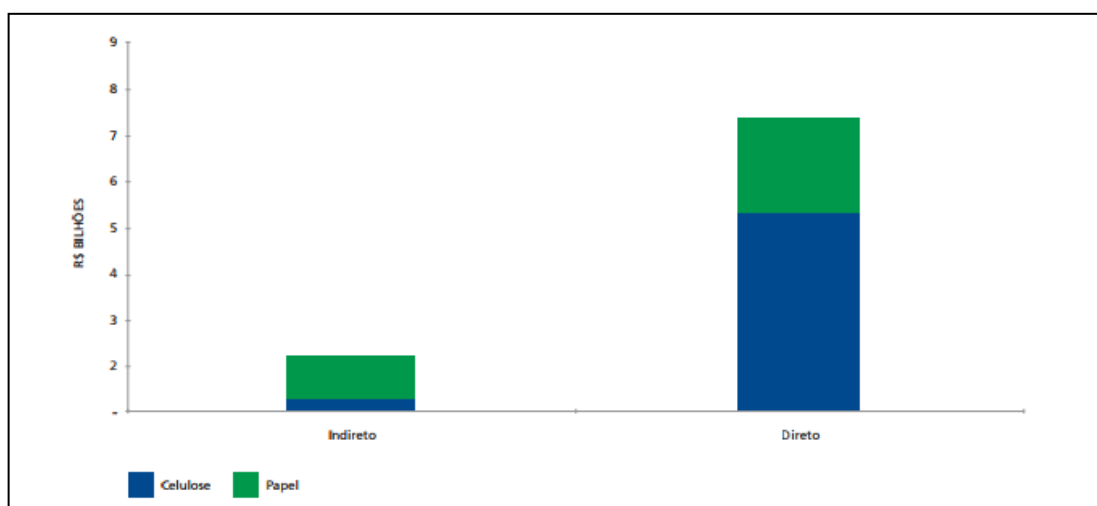


Figura 154: Desembolsos industriais do BNDES de 2001 a 2010 para o setor de Papel e Celulose, excluindo investimentos florestais, renda variável e capital de giro

Fonte: BNDES (2012).

⁶⁷ De acordo com BNDES (2017c), o BNDES atua em parceria com uma rede de instituições financeiras credenciadas. As operações realizadas por meio dessas instituições são chamadas de indiretas. Nas operações indiretas, a análise do financiamento é feita pela instituição financeira credenciada, que assume o risco de não pagamento da operação.

Além disso, a Tabela 63 apresenta a contribuição do BNDES na produção de celulose. Destaca-se que outras importantes fontes de financiamento são os fundos de desenvolvimento regionais, repasses de recursos do BNDES por agentes financeiros e fundos de investimentos em florestas (TIMOs).

Tabela 63: Participação do apoio do BNDES na indústria de papel e celulose – celulose (2007-2014)

Segmento	Brasil: produção em 2007 (A) (Mil t/ano)	Brasil: capacidade adicionada prevista por todos os projetos 2007-2014 (B) (Mil t/ano)	Brasil: variação de capacidade (B/A)	BNDES: capacidade adicionada prevista por projetos apoiados entre 2007 e 2014 (C) (Mil t/ano)	Participação do BNDES (C/B)
Celulose	11.977	7.705	64%	7.015	91%

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2015).

Atualmente, o banco é acionista majoritário da Fibria, segundo maior acionista da Suzano Papel e Celulose, além de um dos grandes detentores de papéis de Klabin e principal credor da Eldorado Celulose, para a qual aprovou financiamento de R\$ 2,7 bilhões no ano de 2011.

4.1.1.2.4 QUÍMICA

A indústria química brasileira tem grande importância para o setor industrial nacional. Em 2014, as vendas anuais da indústria química, globalmente, foram estimadas em US\$ 5,2 trilhões. No Brasil, as vendas do setor totalizaram US\$ 156 bilhões nesse mesmo período, o que torna essa indústria o sexto maior mercado do mundo (BNDES, 2015). Entretanto, a indústria química vem apresentando déficits comerciais crescentes.

Entre 2000 e 2006, a balança comercial do setor químico no Brasil manteve-se relativamente estável, com um déficit anual entre US\$ 6 bilhões e US\$ 9 bilhões. A partir de 2007, o déficit comercial aumentou substancialmente, atingindo US\$ 32 bilhões em 2014.⁶⁸ Particularmente, a cadeia petroquímica, na qual são fabricados produtos químicos derivados do petróleo ou de outros combustíveis fósseis, como o carvão ou o gás natural, representa um importante segmento do setor químico nacional. Nesse grupo de produtos, encontram-se os chamados petroquímicos de primeira geração – olefinas (como o eteno e o propeno) e aromáticos (BTX - benzeno, tolueno e os xilenos) – e os de segunda geração, como as resinas plásticas (PP, PE, PET e PVC, etc), surfactantes, fibras sintéticas etc.

Na última década, o BNDES participou dos maiores investimentos realizados pelo setor petroquímico, inserido na subdivisão Química 1, como a construção do polo gás-químico do Rio de Janeiro, das novas unidades e expansões de polipropileno (PP) e policloreto de vinila (PVC), além da unidade de fibras sintéticas em implantação em Suape (PE). O BNDES também esteve presente no processo de

⁶⁸ Ver Relatório de Caracterização Setorial deste estudo.

reestruturação e consolidação empresarial na indústria petroquímica, que resultou na emergência da Braskem, parceria da Odebrecht e da Petrobras.

O indicador de produtos e serviços do segmento de petroquímica é apresentado na Tabela 64. De acordo com o relatório (BNDES, 2015), em 2007, a capacidade instalada no país era de 18,5 milhões de toneladas/ano, que cresceu cerca de 13% até 2013. O BNDES apoiou projetos no mesmo período que somaram cerca de 3,8 milhões de toneladas/ano de capacidade prevista, ou seja, 21% da capacidade inicial.

Tabela 64: Participação do apoio do BNDES na indústria química (Química 1– petroquímica) (2007-2013)

Segmento	Brasil: capacidade instalada em 2007 (A) (Mil t/ano)	Brasil: aumento da capacidade instalada entre 2007 e 2013 (B) (Mil t/ano)	Brasil: variação de capacidade (B/A)	BNDES: capacidade adicionada prevista por projetos apoiados entre 2007 e 2013 (C) (Mil t/ano)
Petroquímica	18.470	2.470	13%	3.789

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2015).

Nota: Como os projetos têm longo prazo de implementação, grande parte dos projetos aprovados no período (coluna C) ainda não se refletiram em aumento de capacidade (coluna B). Os projetos instalados (B) não necessariamente refletem os projetos de investimento do banco no período, visto o longo prazo de implantação de algum deles, não é dado a informação no relatório BNDES (2015) de quanto destes projetos tiveram de fato o investimento do BNDES e quando foram iniciados os investimentos.

Ainda na indústria química, destaca-se o setor farmacêutico, inserido no grupo previamente mencionado Química 4, que no Brasil segue a estrutura mundial: oligopolizado, orientado por inovação tecnológica e altamente regulado, com a presença de empresas multinacionais de maior porte que as nacionais.

O BNDES (2015) se configurou como um importante parceiro das empresas farmacêuticas nacionais, contribuindo para viabilizar os investimentos de expansão e adequação do parque fabril brasileiro em um novo patamar de escala e qualidade⁶⁹. A produção local de genéricos possibilitaria um menor preço final, contribuindo para aumentar a concorrência e ampliar o acesso a medicamentos da população brasileira, além de permitir o desenvolvimento de medicamentos no Brasil, fomentando a realização de atividades de P&D no país.

Através do programa PROFARMA o BNDES também financiou o segmento farmacêutico nacional. Este programa, criado em 2004, tem como objetivo: Estimular a construção de capacidade produtiva, capacitação e inovação em produtos e processos biotecnológicos no complexo industrial de saúde (CIS), induzir a disseminação da atividade inovadora e o adensamento da cadeia de pesquisa e

⁶⁹ Esse foi um dos principais êxitos da primeira versão do BNDES Profarma, lançado em 2004.

desenvolvimento (P&D) no CIS e incentivar o aumento da capacidade produtiva e modernização de instalações no CIS (BNDES, 2017).

Em 2013 o programa lançou sua terceira renovação, com o PROFARMA III. Na sua terceira fase, foi estimado com um orçamento de R\$ 5 bilhões e prazo de vigência até 2017, tendo tido a introdução de um novo subprograma, o Profarma - Biotecnologia. Na época, o Programa contava com um estoque de 88 operações aprovadas/contratadas, com total de financiamento de cerca de R\$ 1,9 bilhão. Deste total, 46% (R\$ 856 milhões) voltados para o financiamento à produção, 31% (R\$ 582 milhões) à inovação, 18% (R\$ 347 milhões) à reestruturação de empresas e 5% (R\$ 100 milhões) à exportação. Em 2016, o Programa PROFARMA Produção foi transformado em BNDES Finem - Produção de fármacos e medicamentos (BNDES, 2017).

A Tabela 65 apresenta uma estimativa do número de novos medicamentos lançados no Brasil de 2007 a 2014: 3.338. Nesse mesmo período, o BNDES aprovou projetos que estabeleciam o lançamento de 501 medicamentos. Esse valor indica que, de todos os medicamentos lançados no Brasil, cerca de 15% deles foram desenvolvidos no Brasil com o apoio do BNDES.

Tabela 65: Participação do apoio do BNDES na indústria química (Química 4– farmacêutica) (2007-2014)

Segmento	Unidade	Brasil: novos medicamentos lançados entre 2007 e 2014 (A)	BNDES: medicamentos em projetos apoiados entre 2007 e 2014 (B)	Participação do BNDES (B/A)
Indústria farmacêutica – novos medicamentos lançados	Unidades	3.338	501	15%

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2015).

Caso fosse utilizado como comparação o número de medicamentos lançados por empresas nacionais, provavelmente a participação do BNDES seria maior, pois as multinacionais desenvolvem seus produtos no exterior e eles são lançados também no Brasil (BRASIL, 2015). É relevante observar que o apoio do BNDES possibilitou a concorrência de medicamentos nacionais com esses produtos, muitas vezes de elevado valor agregado.

A primeira etapa desse processo foi viabilizar o desenvolvimento e a produção local dos genéricos, atualmente consolidada. Trata-se do primeiro degrau da curva de aprendizagem da indústria brasileira. Hoje, os desafios dessa indústria relacionam-se principalmente ao aprofundamento da estratégia de inovação – com o desenvolvimento de inovações incrementais que apresentem ganhos terapêuticos – e ao *catch-up* em biotecnologia moderna, fronteira tecnológica do setor.

Em 2016, o BNDES juntamente com o FINEP lançou o Plano de Desenvolvimento e Inovação da Indústria Química (PADIQ)⁷⁰, que visa a fomentar projetos que contemplem o desenvolvimento tecnológico e o investimento na fabricação de produtos químicos. A partir de editais, serão direcionados um recurso estimado de R\$ 2,2 bilhões para operações entre 2016 e 2017. O primeiro edital PADIQ foi voltado para os seguimentos: aditivos para alimentação animal, derivados do silício, fibras de carbono e seus compósitos, produtos para exploração e produção de petróleo, insumos químicos para higiene pessoal, perfumaria e cosméticos e produtos químicos de fontes renováveis de matérias-primas.

Dentro dos subsetores Química 2: Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos e Química 3: Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal não foram encontradas nenhum programa de financiamento específico.

4.1.2 INVESTIMENTOS PÚBLICOS

Segundo IPEA (2010b), diversos estudos mostram que os investimentos públicos, por exemplo, a partir das compras governamentais, têm sido extensivamente utilizadas por governos de vários países – com utilização mais intensa por parte das nações desenvolvidas – para a implementação de políticas públicas⁷¹. De maneira geral, estas são direcionadas a pelo menos um dos objetivos a seguir: incentivo à indústria (estímulos setoriais, conforme o tema deste capítulo); aumento do investimento em P&D, combinado com estímulo à inovação; e melhoria na prestação de serviços públicos. O estudo ainda destaca que a União Europeia, a Organização Mundial do Comércio (OMC) e o Tratado Norte-Americano de Livre Comércio (Nafta), por exemplo, têm legislação e procedimentos específicos para compras públicas. No caso particular dos Estados Unidos, existe ainda uma clara conduta de preferência para bens de produção doméstica nas compras do governo.

Embora os investimentos e as compras públicas sejam reconhecidos como um importante instrumento para a execução de políticas, isto não significa que o seu uso seja uniforme, ou seja, ocorrem variações, por exemplo, com relação ao nível de centralização das compras, à forma de execução dos leilões, às condições de preferência por pequenas e médias empresas, entre outras. Evidentemente, a origem destas diferenças está vinculada às peculiaridades econômicas e legais de cada país. Ainda, com relação à sua finalidade, o poder de compra governamental pode ser usado de duas formas: para

⁷⁰ O PADIC está inserido no Plano Innova Empresa, um plano do governo federal com participação da FINEP e BNDES. Este plano abrange diversos programas em diferentes áreas de desenvolvimento, dentre elas a indústria química brasileira. Os programas são operados por meio de editais e engloba diferentes modalidades de apoio, com integração de instrumentos, tais como: crédito, subvenção econômica e recursos não reembolsáveis para projetos em parceria entre ITCs e empresas e investimento em empresas de forma direta ou por meio de fundos (FINEP, 2017).

⁷¹ Ainda que os investimentos públicos possam direcionar a implementação de políticas públicas, por exemplo, a partir do incentivo aos setores industriais e investimentos em PD&I, é importante ressaltar a existência de distintas perspectivas quanto à relação causal no que se refere à elaboração das políticas públicas.

adquirir bens prontamente disponíveis no mercado ou para desenvolver novos produtos. Esta segunda forma de contratação tem especial relevância quando as metas da política incluem o aumento do investimento em P&D e a promoção da inovação. Os benefícios podem ser resumidos como a indução de uma demanda por produtos com tecnologias mais avançadas e a redução do risco inerente às atividades de P&D no país. Com isso, aparecem oportunidades para melhorar a qualidade dos serviços públicos e, como consequência, a produtividade da economia (IPEA, 2010b).

Para orientar o papel das compras públicas, Moreira & Vargas (2009) entendem que o governo pode utilizar três opções de trajetórias para induzir a inovação:

- como mercado potencial, gerando requisitos inovadores;
- como fonte de interação com as empresas, alterando a concepção analítica dos novos produtos; e
- como agente de mercado, auxiliando a difusão das soluções inovadoras desenvolvidas.

Os autores destacam que “a efetiva indução de inovações com as compras governamentais requer não apenas a intencionalidade política, mas também capacitação governamental para a adoção de requisitos de fornecimento efetivos na indução de soluções genuinamente inovadoras”.

No caso específico do Brasil, um contrato com um ente público é regido pelo direito público, que estabelece princípios e limites para atuação da administração pública. A Lei 8.666, de 21 de junho de 1993, conhecida por Lei das Licitações, dispõe sobre os contratos administrativos, suas cláusulas, as condições de formalização, de alteração, de execução e de rescisão desses instrumentos (BRASIL, 1993b). Antes da celebração do contrato, o particular interessado em contratar com a administração pública deve se submeter a um processo de seleção.

A Lei de Licitação estabelece as regras para realização da licitação, processo de seleção que visa a garantir a seleção da proposta mais vantajosa para a administração, assegurar o princípio constitucional da isonomia, bem como atender aos princípios do direito administrativo, da legalidade, da impessoalidade, da moralidade, da igualdade, da publicidade, da probidade administrativa, da vinculação ao instrumento convocatório e do julgamento objetivo (BRASIL, 1993b). A licitação pode ser executada em cinco modalidades, que são a concorrência, a tomada de preços, o convite, o concurso e o leilão (FOSS & BRACELLI, 2016).

Conclui-se, portanto, que o processo licitatório para compras públicas se configura como uma política que busca refletir e até sugerir mudanças sobre a atuação do Estado na promoção de estímulos setoriais, por intermédio de políticas públicas. Destaca-se, nesse sentido, que o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, por meio da Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação (SLTI), tem priorizado a sustentabilidade nas contratações públicas. Primeiramente, desenvolveu-se um sistema de compras que comporta o cadastro de todos os atores envolvidos bem como um catálogo

de bens e serviços, informatizou-se todo o processo e se desenvolveu modalidades executadas na forma eletrônica. Ou seja, organizou um sistema de compras transparente e funcional, diminuindo não só os custos operacionais das compras públicas, como os dos bens e serviços adquiridos⁷².

Posteriormente, foi desenvolvida uma política voltada para as MPEs usando o poder de compra do Estado para incentivar a sua participação nas licitações, fortalecendo o setor, gerando emprego, distribuindo renda e consolidando o mercado. Além disso, a SLTI potencializou o Programa de Contratações Públicas Sustentáveis para que ele pudesse incluir critérios ambientais nas compras públicas. Para tanto, em 19 de janeiro de 2010, a SLTI editou a Instrução Normativa nº 1, que dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional. Assim, o Catálogo de Materiais do SIASG – CATMAT foi alterado para incluir a informação do material ser ou não sustentável, facilitando a pesquisa por produtos sustentáveis.

Os investimentos governamentais, em geral, relacionam-se às compras de materiais de consumo, insumos para áreas como educação, saúde e demais serviços públicos, além de outros bens e serviços não duráveis. Ainda sobre bens móveis duráveis, observa-se também uma mudança de abordagem no que se refere aos investimentos governamentais (despesas), por exemplo, via contratos de leasing para equipamentos como computadores, assim como substituição da aquisição de veículos por serviços de mobilidade por táxi. Portanto, tais mudanças precisam ser consideradas quando da análise e da projeção de cenários relativos às despesas do governo.

Em termos práticos, pode-se destacar, inclusive, programas do governo, que exemplificam uma política habitacional que apresenta efeito indireto de estimular um setor a partir de gastos públicos. Exemplos são o Programa de Aceleração de Crescimento (PAC), lançado em 2007, e o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), lançado em 2009. Ambos os programas atingem direta ou indiretamente toda a cadeia produtiva da construção civil, sobretudo a indústria do cimento.

Criado em 2007, o PAC promoveu o planejamento e execução de grandes obras de infraestrutura social, urbana, logística e energética do país, contribuindo para o seu desenvolvimento acelerado e sustentável. Como resultado, inúmeros setores econômicos foram, direta e indiretamente, impactados devido às compras governamentais realizadas para a execução do projeto.

O PMCMV foi lançado em março de 2009 pelo Governo Federal em parceria com estados, municípios, empresas e entidades sem fins lucrativos para permitir o acesso à casa própria para famílias de renda baixa e média (com renda bruta até R\$6.500). O programa está ligado à Secretaria Nacional de

⁷² Disponível em: <<http://www.comprasgovernamentais.gov.br/gestor-de-compras/sustentabilidade/compras-sustentaveis>> Acesso em: 21 abr. 2017.

Habitação do Ministério das Cidades, que coordena a concessão de benefícios junto à Caixa Econômica Federal (CEF), o Banco do Brasil (BB), governos e entidades locais.

Destaca-se que, além dos benefícios para quem quer adquirir um imóvel, o programa também estimulou a cadeia produtiva da Indústria da Construção, gerando emprego e renda para milhares de trabalhadores e um incremento para o comércio, aumentando a oferta de imóveis à venda. Com investimentos programados da ordem de R\$ 34 bilhões o programa previa a construção de 1 milhão de moradias no prazo de dois anos, além da promessa de geração de emprego, renda e sustentação econômica⁷³.

O programa ainda está em funcionamento, hoje na sua terceira fase. Até 2015 mais de 3 milhões de moradias já haviam sido contratadas deste universo, cerca de 2,1 milhões de moradias foram entregues, totalizando investimentos superiores a R\$ 244 bilhões⁷⁴. A política habitacional do PMCMV contribuiu para o aquecimento na economia do país e para o crescimento do setor da construção civil (PIMENTA, 2016). A injeção do crédito imobiliário e as exigências do PMCMV trouxeram uma necessidade crescente por parte das construtoras de atender uma demanda para construir residências de baixo custo, com qualidade, utilizando sistemas construtivos rápidos e sem prejudicar a segurança das edificações (ANDRADE, 2012). Ou seja, é um programa do governo que fomenta a construção civil e a indústria de cimento e será melhor detalhado a seguir.

4.1.2.1 EFEITOS DO PAC E PMCV NA CONSTRUÇÃO CIVIL E NA INDÚSTRIA DE CIMENTO

De acordo com 11º balanço do PAC, divulgado em outubro de 2010, a economia cresceu, em média, 4,6% a.a. entre 2007 e 2010. Nos anos de 2011 a 2013, o crescimento do PIB foi da ordem de 2,0% a.a.. No ano de 2010, o Governo Federal reiterou a importância do PAC para a redução dos impactos da crise internacional, pois no país ocorreu a expansão da formação bruta de capital fixo, progressivamente, o que comprovava a elevação do nível de investimento do país (BRASIL, 2014).

Com a implantação do PAC, ocorre um significativo incentivo à indústria da construção civil brasileira, influenciando diversos parâmetros fundamentais da economia como renda e demanda por mão-de-obra. A construção civil tem um importante papel na inclusão no mercado de trabalho de indivíduos com baixa escolaridade, logo, ao gerar emprego no canteiro de obra, gera-se renda para as classes C e D da sociedade (POSSENTI & PINTILI, 2015).

⁷³ Disponível em:

<<http://www.fclar.unesp.br/Home/Departamentos/AdministracaoPublica/RevistaTemasdeAdministracaoPublica/artigoalexandromagnoli.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

⁷⁴ Disponível em: <<http://www2.planalto.gov.br/noticias/2015/05/nova-meta-do-minha-casa-minha-vida-e-atender-27-milhoes-de-brasileiros-ate-2018>>

O número de empresas ativas no setor da construção civil, de 2007 a 2012, é destacada na Figura 155 observa-se um aumento de 97,35% quando se compara ao número de empresas ativas entre 2007 e 2010. De 2010 a 2012, a expansão manteve-se em um ritmo ainda mais acelerado, sendo que o crescimento maior foi observado entre as empresas da seção 43. Destaca-se, entretanto, que a redução dos investimentos em infraestrutura pelo governo prejudicam bastante a dinâmica do setor. Segundo Possenti & Pintili (2015), existe uma segmentação expressiva do processo produtivo da construção, fazendo com que inúmeras empresas possam entrar no mercado exercendo atividades pontuais. As atividades da seção 43 atendem a todas as atividades do setor da construção civil, mostrando, portanto, que o crescimento dos investimentos do PAC contribui para a entrada de empresas fornecedoras de serviços para o setor.

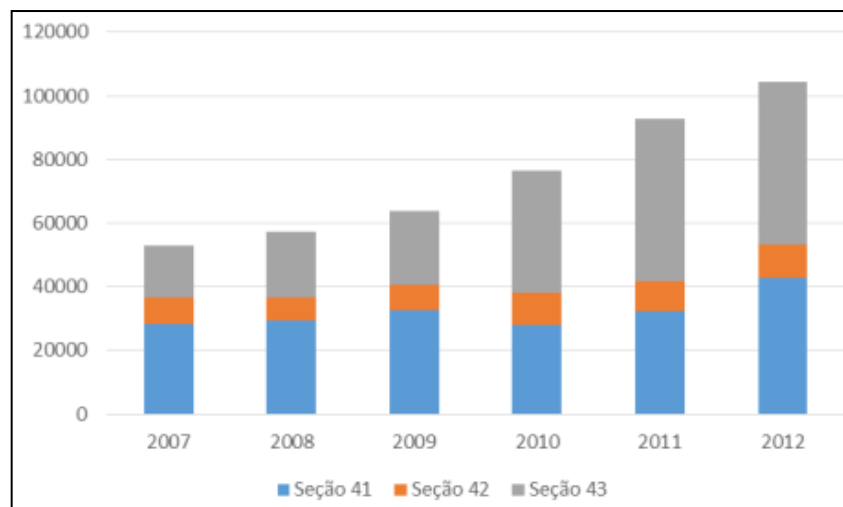


Figura 155: Empresas ativas na Construção civil segundo o IBGE

Fonte: Possenti & Pintili (2015).

Ademais, os Programa de Aceleração do Crescimento (PAC I), lançado em 2007 e o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), lançado em 2009, foram fundamentais para a expansão da construção civil no país, impactando diretamente na demanda de cimento nacional e alavancado o setor cimenteiro.

Foram investidos na cadeia produtiva da construção R\$ 349,4 bilhões em 2012. O melhor desempenho do setor, nos últimos 24 anos, foi alcançado em 2010, quando registrou taxa de crescimento de 11,6%. Este resultado decorreu de uma combinação de fatores: aumento do crédito, queda das taxas de juros, programas de investimentos públicos em infraestrutura, redução de impostos, aumento da renda dos ocupados e da massa de salários (SHIMIZU& DOMINGUES, 2015).

A atividade na construção desacelerou em 2011, com o PIB setorial crescendo apenas 3,6%, ante os 11,6% do ano anterior. Mesmo assim, a expansão do setor foi superior àquela do PIB brasileiro que havia registrado 2,7%. Esta desaceleração pode ser explicada, em grande parte, pelo conjunto de medidas macroprudenciais adotadas pelo governo no início de 2011 e o desaquecimento da economia mundial (SHIMIZU& DOMINGUES, 2015), conforme demonstra a Figura 156.

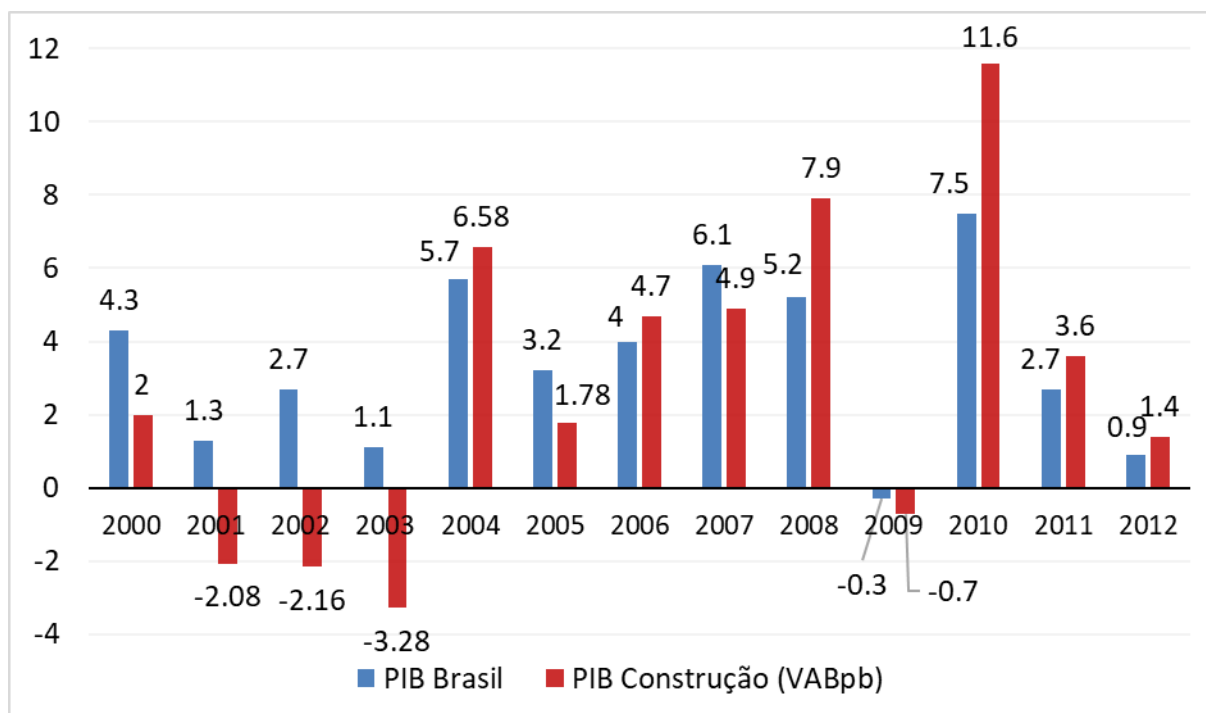


Figura 156: Variação, em relação ao ano anterior, do PIB Brasil e PIB do Setor de Construção Civil

Fonte: DIEESE (2013).

Em 2012, o setor seguiu mantendo uma taxa de crescimento superior à do país, de 1,4%, contra 0,9% de crescimento do PIB nacional.

O consumo de cimento, um dos termômetros do setor da construção, tem apresentado boa performance nos últimos anos. Com exceção de 2012, quando a variação foi negativa (-1,27%), os anos anteriores mostram consumo crescente deste produto no país. Em 2012, os dados indicam que o consumo superou 64 milhões de toneladas.

Os impactos dos investimentos do PMCMV sobre o nível de atividade dos setores econômicos no longo prazo são apresentados na Figura 157. O setor mais beneficiado durante a fase de operação do programa (após a construção das moradias do programa, portanto a partir do momento em que estes passam efetivamente a operar dentro da economia) é o de aluguel de imóveis, com crescimento de 2.174%. Outros setores beneficiados são administração pública, instituições financeiras, construção civil⁷⁵, produtos minerais não metálicos e serviços prestados às empresas. Os resultados indicam que os efeitos setoriais de longo prazo afetam principalmente os setores mais diretamente favorecidos pelos

⁷⁵ No que se refere ao PMCMV, é interessante destacar que, embora o setor de construção civil tenha sido impulsionado pelo programa, o setor financeiro também apresentou um forte crescimento, devido aos financiamentos associados. Tal constatação passa, muitas vezes, despercebida da análise, mas deve ser considerada.

investimentos, já que nas simulações foram aplicados choques no estoque de capital no setor de imóveis.

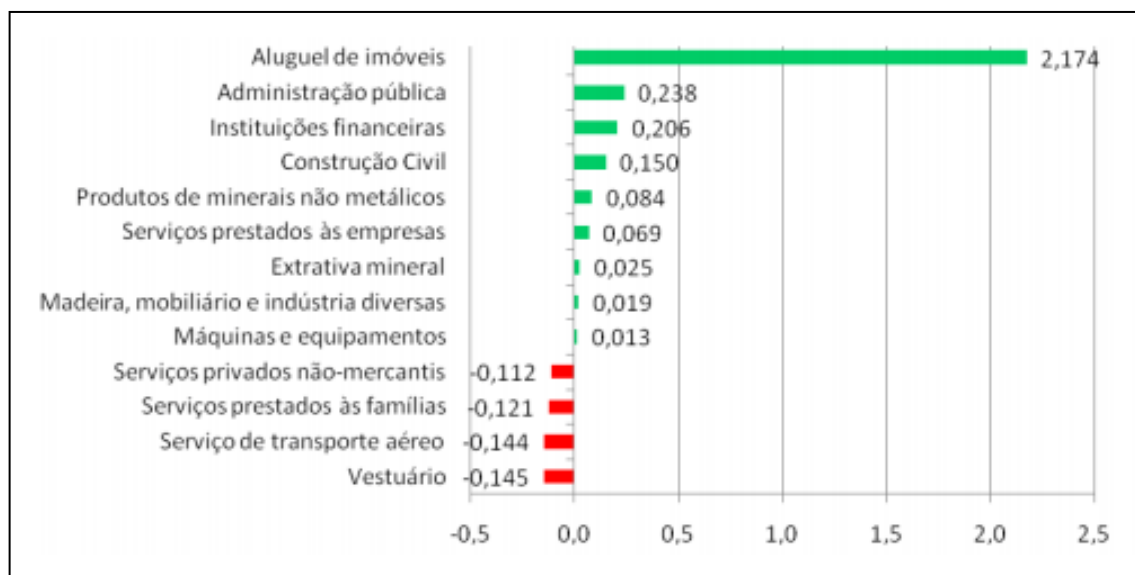


Figura 157: Estimativa dos Impactos Setoriais durante a fase de operação dos investimentos do PMCMV

Fonte: Shimizu & Dominguez (2015).

Na Figura 158, mostram-se os impactos totais dos investimentos sobre o nível de atividade dos setores econômicos. Construção civil e aluguéis de imóveis são os setores beneficiados com maiores taxas de crescimento, junto com outros setores diretamente afetados pelos investimentos do programa.

A atração de capital e trabalho aos setores beneficiados provocará resultados negativos em outros setores não favorecidos pelos investimentos do PMCMV, como a indústria têxtil, de calçados, de autopeças e outros veículos, e de transporte aéreo. Estes resultados indicam que o deslocamento relativo de fatores produtivos (capital e trabalho) para os setores mais beneficiados pelo programa tende a diminuir o nível de atividade em alguns setores, comparativamente a uma situação em que os investimentos do programa não ocorressem.

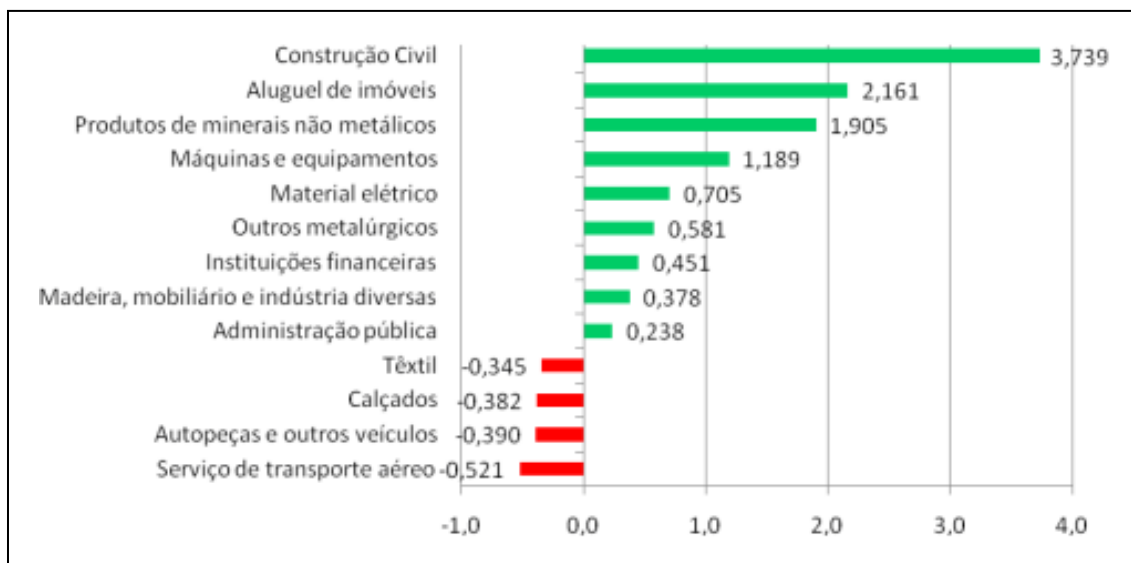


Figura 158: Estimativas dos impactos setoriais totais do PMCAMV

Fonte: Shimizu & Dominguez (2015).

A construção civil, juntamente à siderurgia, tem sido o maior consumidor de cal do Brasil nos últimos anos. Em 2011, cerca de 31% da produção nacional de cal foi utilizada pela construção civil. Na construção civil, o consumo de cal é em sua maior parte de cal hidratada (SILVA, 2009). Apesar dos grandes investimentos aplicados no setor de construção civil com o PAC e o com o PMCMV, o consumo de cal hidratada apresentou um crescimento de apenas 0,2% a.a. entre 2007 e 2012.

4.1.3 CONTEÚDO LOCAL

A Política de Conteúdo Local (PCL) no Brasil teve seu desenvolvimento no setor de máquinas e equipamentos através da Finame, conforme analisado na seção anterior. Entretanto, a política faz parte, sobretudo, dos setores de óleo e gás e de energia eólica. O conceito de Conteúdo Local nada mais é do que a proporção dos investimentos nacionais aplicados em um determinado bem ou serviço, correspondendo à parcela de participação da indústria nacional na sua produção. Trata-se, portanto, de uma política industrial. Assim, quando uma plataforma de petróleo ou turbinas eólicas, por exemplo, possuem um alto índice de conteúdo local, significa que os bens e serviços utilizados em sua construção são, em grande parte, de origem nacional, e não importados.

No Brasil, a regulamentação de conteúdo local (CL) faz parte de uma política do governo federal para ampliar a participação da indústria nacional no fornecimento de bens e serviços, gerando emprego e renda para o país. Segundo Almeida (2015), as PCL são desenvolvidas com intuito de atingir objetivos econômicos e sociais específicos. Nesse sentido, é necessária uma criteriosa escolha dos instrumentos de política que abordem restrições específicas, a saber, externalidades ou falhas de mercado. A política de CL deve ser associada a outros instrumentos com intuito de viabilizar, por intermédio de um esforço

coordenado do Governo Federal, o desenvolvimento da cadeia de fornecedores de bens e serviços (ABDI, 2011).

No caso brasileiro, a política industrial foi historicamente associada à promoção da produção a nível local, com um caráter de substituição de importações. Nesse sentido, a promoção do conteúdo local como instrumento tradicional de política industrial, esteve pautada em diversos setores industriais, na iniciativa de promoção de conteúdo local em todos os elos da esfera produtiva. Esse objetivo, porém, é incompatível com o desenvolvimento de tecnologia e a geração de competitividade, posto que atua na contramão da seleção de tecnologias e empresas.

4.1.3.1 PETRÓLEO E GÁS

Analisando-se especificamente a indústria do petróleo, observa-se que ela produz bens que são insumos de difícil substituição na matriz produtiva, posto que são pilares para o modo de produção e consumo da nossa sociedade (ALMEIDA, 2015). Embora outras fontes de energia tenham aumentado sua participação na matriz energética mundial, projeções para os próximos vinte e cinco anos, reforçam o petróleo como a principal fonte energética, sendo os combustíveis de origem fóssil, responsáveis por cerca de 80% da oferta total de energia primária até 2040 (EIA, 2013). Nesse sentido, o petróleo ainda ocupa posição estratégica no que se refere à matriz energética mundial.

Nesse contexto, a descoberta, na costa brasileira, de campos de petróleo na região do pré-sal representa um novo marco de exploração e produção para o setor petrolífero brasileiro (IPEA, 2010c). As reservas, em 2013, eram quase 50% maiores que as de dez anos atrás, quando o petróleo do pré-sal nas bacias de Santos e Campos ainda não tinham sido descobertas (ANP, 2013). Essas descobertas constituem um forte indutor de desenvolvimento econômico, fazendo necessária a readequação do marco regulatório nas etapas de exploração e de produção da indústria brasileira de petróleo e de gás natural (IPEA, 2010c).

Assim, a exploração e produção (E&P) nos campos do pré-sal constitui, segundo Almeida (2015), uma possibilidade para o fortalecimento da indústria nacional de base. A ampliação da indústria para uma escala capaz de suprir as necessidades do setor para-petroleiro pode elevar a posição brasileira no âmbito internacional, tornando o Brasil um grande player desse setor no mercado mundial (ABDI, 2011). Dessa forma, a PCL é um instrumento essencial para a construção de uma cadeia eficiente de suprimentos para o setor petroleiro (CNI, 2012), e há um esforço crescente para estruturação de uma cadeia de fornecedores no setor para-petroleiro (ALMEIDA, 2015).

A Lei 12.351, de 22 de dezembro de 2010, define CL como a proporção entre o valor dos bens produzidos e dos serviços prestados no país e o valor total dos bens e serviços utilizados para a execução do contrato E&P. O entendimento de “conteúdo local” aplicado no Brasil refere-se à aquisição de bens e serviços de fornecedores locais pelas companhias petrolíferas. Considerando esta interpretação, os objetivos da PCL brasileira são: i) incrementar a participação de fornecedores locais

sobre bases competitivas; ii) melhorar o desenvolvimento tecnológico local; e iii) gerar oportunidades de trabalho para nativos e lograr o crescimento da renda (TORDO *et al.*, 2011). Apesar de a lei ser de 2010, desde a primeira Rodada de Licitações, ocorrida em 1999, a ANP estabeleceu requisitos mínimos de CL em seus contratos de concessão com as operadoras vencedoras, para investimentos realizados nas fases de exploração e desenvolvimento da produção.

As principais regulações que regem as atividades de exploração e produção de petróleo, no Brasil, incluindo a PCL, são a Lei de Petróleo e as Resoluções ANP⁷⁶. A Lei do Petróleo instaurou o novo marco regulatório das atividades da indústria, contendo entre seus objetivos, a promoção do desenvolvimento, a ampliação do mercado de trabalho e a promoção da livre concorrência visando assegurar o crescimento e o fortalecimento da indústria nacional. Dessa forma, a lei do petróleo passou a instituir-se como uma política de Estado para o desenvolvimento da cadeia nacional de petróleo e gás natural (FERNANDEZ & MUSSO, 2011). As Resoluções ANP definem o processo de certificação de CL por empresas certificadoras, assim como o processo de acreditação dessas certificadoras.

No Brasil, a PCL foi regulamentada apenas para o segmento de *upstream*. Isto, contudo, não impediu que a Petrobras fosse implementando, por iniciativa própria, as mesmas práticas ao setor do refino de petróleo, mesmo sem exigências por parte da ANP. As exigências de CL para o *downstream* começaram a ser discutidas no âmbito da ANP somente em 2009. (MAGALHÃES *et al.*, 2011).

Conforme a Figura 159, é importante compreender a relação direta de encadeamento que existe a cadeia de petróleo com demais setores da indústria considerados neste relatório, sobretudo siderurgia e petroquímica.

⁷⁶ Resolução nº 36/2007 (Regulamento de Certificação de Conteúdo Local); Resolução nº 37/2007 (Regulamento de Credenciamento de Entidade para Certificação de Conteúdo Local); Resolução nº 38/2007 (Regulamento de Auditorias de Certificadoras); Resolução nº 39/2007 (Regulamento do Relatório de Investimentos Locais); e Resolução nº 19/2013.

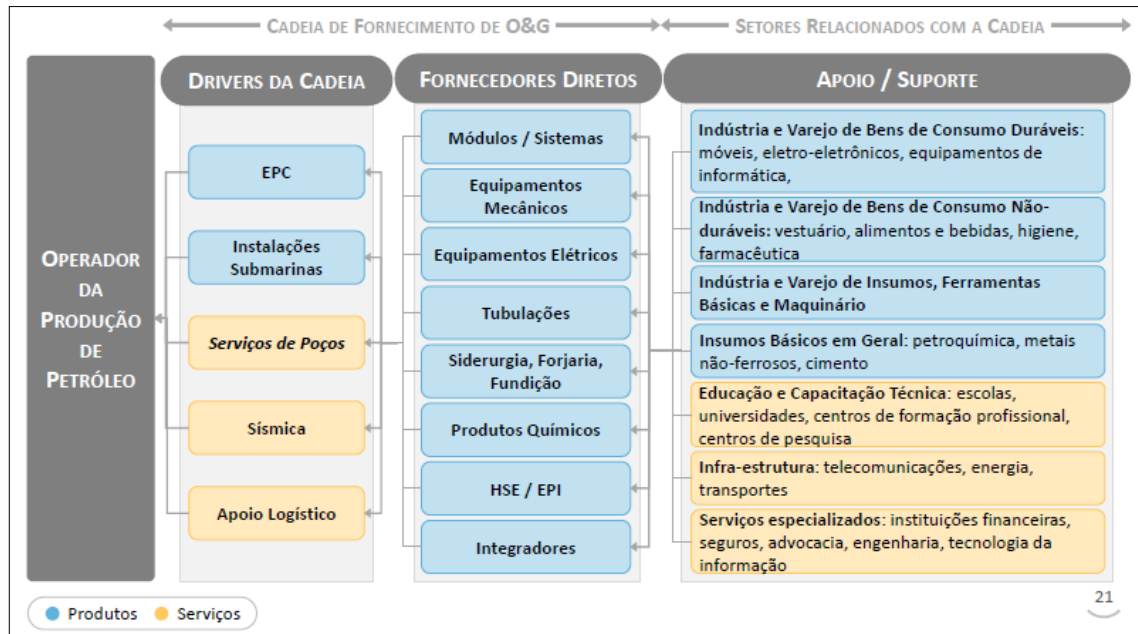


Figura 159: Fluxograma dos setores da cadeia do petróleo

Fonte: ONIP (2013)⁷⁷.

Esta informação também pode ser verificada ao analisarmos a cadeia de fornecimento em P&G *Offshore*, conforme evidenciado pela Figura 160 a seguir. A sua capilaridade, atingindo diferentes segmentos industriais e regiões do país e a diversidade de porte das empresas, de pequenas a grandes, configura uma particularidade do setor que reafirma sua importância para a indústria brasileira como um todo.

⁷⁷ Apresentação da Organização Nacional da Indústria do Petróleo (ONIP) realizada pelo Núcleo de Apoio à Gestão da Inovação na Cadeia de P&G, disponível em: <www.onip.org.br>. Acesso em: 21 jun. 2017.

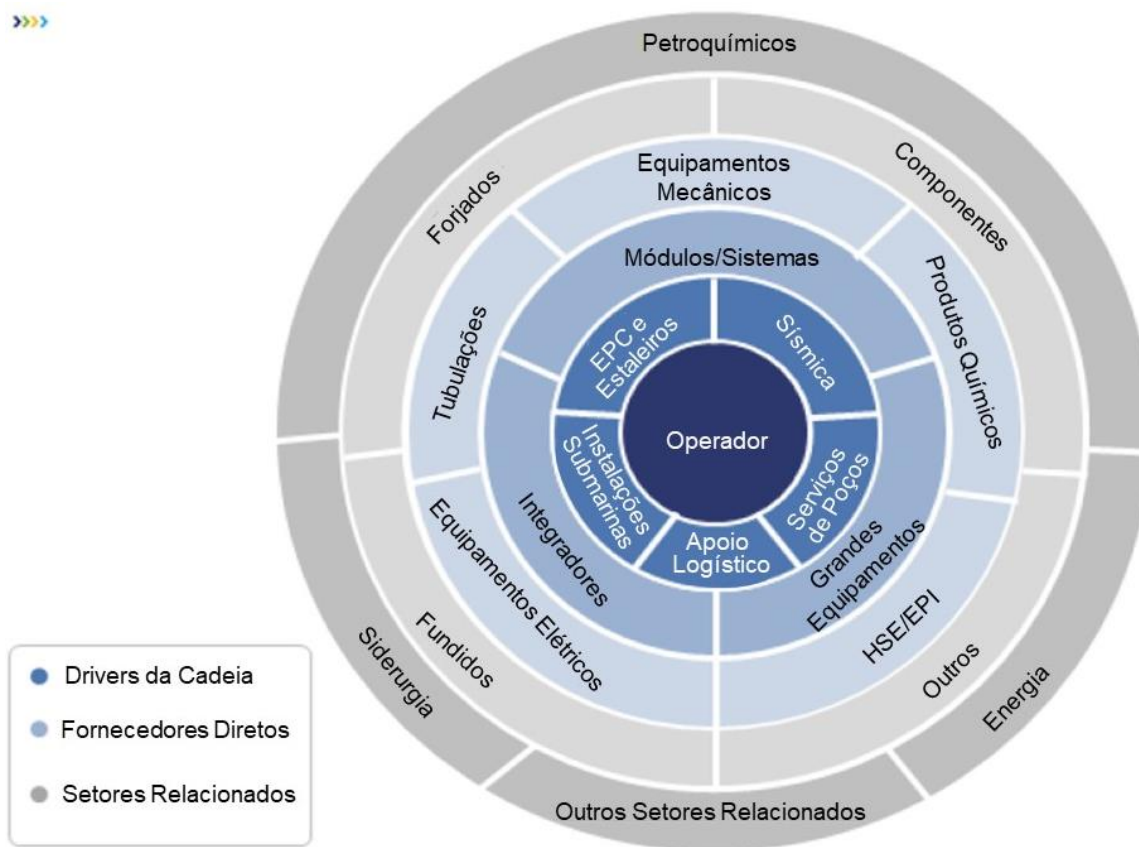


Figura 160: Cadeia de fornecimento em P&G Offshore

Fonte: FIEB (2015).

Por fim, destaca-se na Figura 161, a seguir, que os diversos segmentos da cadeia produtiva do setor petróleo são avaliados do ponto de vista do retorno para o país, em função do seu desenvolvimento local e em comparação com o esforço de desenvolvê-lo (priorização). O resultado aponta para a parte superior direita da matriz, que indica os setores que oferecem as melhores relações esforço x retorno.



Figura 161: Matriz de direcionamento para desenvolvimento dos segmentos Offshore

Fonte: FIEB (2015).

Ressalta-se que a política de conteúdo local para a indústria do petróleo apresenta inúmeros *spillovers* (externalidades positivas) sobre os demais subsetores da indústria nacional. Isso se torna ainda mais evidente após análise da Tabela 66 a seguir.

Tabela 66:Pré-sal: vetor investimento, vetor importação e vetor impostos

Código	VETOR INVESTIMENTO		VETOR IMPORTAÇÃO	VETOR IMPOSTOS (%)	
	Pré sal	%		NACIONAL	IMPORTADO
03	Extração de petróleo e gás natural, carvão etc	0,3711	0,5	0,05	0,05
04	Fabricação de minerais não-metálicos	0,0008	0	0,26	0
05	Siderurgia	0,0625	0,1	0,274	0,517
07	Fabricação de outros produtos metalúrgicos	0,1593	0,2	0,298	0,557
08	Fabricação e manutenção de máquinas e tratores	0,1696	0,5	0,23	0,42
10	Fabricação de aparelhos e equipamentos de material elétrico	0,0471	0,3	0,24	0,38
11	Fabricação de aparelhos e equipamentos de material eletrônico	0,0069	0,6	0,357	0,61
13	Fabricação de outros veículos, peças e acessórios	0,0393	0,8	0	0
19	Fabricação de produtos químicos diversos	0,0367	0	0,239	0,425
22	Indústria têxtil	0,0075	0	0,27	0,5
34	Construção civil	0,0129	0	0,03	0,03
36	Transporte	0,0034	0	0,04	0,04
38	Instituições financeiras	0,005	0	0,01	0,01
40	Serviços prestados às empresas	0,078	0,175	0,03	0,03

Nota: Setores que não são impactados por investimentos em petróleo e gás foram omitidos da tabela.

Fonte: IBP-UFRJ (2016).

4.1.3.2 EÓLICA

Relativamente à PCL na indústria eólica no Brasil, observa-se um crescimento da participação da energia eólica na matriz energética brasileira, dado que as usinas atingiram preços competitivos, motivando, assim, a instalação de uma indústria nacional de equipamentos para atender esse mercado⁷⁸. Nesse sentido, alguns programas com o objetivo de incentivar o desenvolvimento dessa energia renovável foram criados pelo governo. No ano de 2001, durante a crise energética, surge o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), elaborado pela câmara de gestão da crise de energia elétrica. Ele tinha como objetivo possibilitar a instalação de 1.050 MW de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica até dezembro de 2003. Como esse programa não teve sucesso, foi criado para substituí-lo o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que encorajou o desenvolvimento das fontes renováveis e abriu espaço para a consolidação da indústria de eólica no Brasil.

Os Leilões de Energia Reserva (LER) também são importantes para o desenvolvimento do setor. Eles contratam um volume de energia acima daquele que atende a demanda do país para ser utilizado como reserva. Em 2009, no 2º LER, houve pela primeira vez a comercialização de energia eólica e foram contratados 1,8 GW desta fonte. Como consequência dos leilões e do PROINFA, ao final de 2012, o Brasil já possuía 108 parques eólicos, totalizando 2,5 GW de capacidade instalada. Para o final de 2017 estimam que o país terá 8,7 GW de energia eólica operando (MELO, 2013).

Segundo Kuntze & Moerenhout (2013), a PCL no setor se desenvolveu através do PROINFA e depois através do BNDES. O Programa, criado em 2002, fornecia incentivos tarifários baseados no fator de capacidade ligado à velocidade do vento. Com um fator de capacidade de 44%, que significava uma boa velocidade do vento, a tarifa chegava a \$62/MWh. O PROINFA estabeleceu um índice de nacionalização de 60% para equipamentos e 90% para serviços. A capacidade de energia eólica instalada, que no Brasil em 2002 era de 22 MW, subiu para 931MW em 2010.

Outro agente importante no desenvolvimento da cadeia produtiva eólica brasileira foi/é o BNDES, que possui financiamentos muito atrativos. Grande parte dos parques eólicos brasileiros é financiada por ele por meio do Finame, que financia somente a aquisição isolada de máquinas e equipamentos, e do Finem, que financia projetos de parques eólicos, o que inclui obras civis, mão-de-obra e outros gastos.

De acordo com o projeto IND-P&G-28 - Estudo de Competitividade da Indústria Brasileira de Bens e Serviços do Setor de Petróleo e Gás Natural, realizado pelo Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE/UFRJ), sob a coordenação da Petrobras, no período de março de 2006 a junho de 2007, 18 setores da indústria fornecedora de bens e serviços para o segmento de petróleo

⁷⁸ Mais informações em: <<http://www.mdic.gov.br/competitividade-industrial/acoes-e-programas-3/mudanca-do-clima-3/energia-eolica>>. Acesso em: 05 mai. 2017.

e gás natural foram diretamente impactados pela Política de Conteúdo Local, a saber: siderurgia, tubos, bombas de pequeno porte, turbinas a vapor, equipamentos submarinos, geradores e motores elétricos, caldeiraria, conexões e flanges, compressores alternativos, válvulas, serviços de engenharia construção e montagem, compressores centrífugos, motores a gás e a diesel de grande porte, turbinas a gás, equipamentos e sistemas de automação.

4.1.4 ESTÍMULOS AO SETOR DE PAPEL E CELULOSE

As principais políticas públicas que impulsionaram o segmento de papel e celulose no Brasil foram, de acordo com Santos *et al.* (2016): Plano Especial de Obras Públicas e Aparelhamento da Defesa Nacional (1939-1944); Plano de Metas no governo Juscelino Kubitschek (1956-1961); Primeiro Programa Nacional de Papel e Celulose (I PNPC) (1974 -1980); Segundo Programa Nacional de Papel e Celulose (II PNPC) (1987-1995); Política de Incentivos Fiscais de 1966 (Lei 5.106) (1966-1987); fixação pelo BNDES de níveis mínimos de escala de produção; e fixação pelo Conselho de Desenvolvimento Econômico (CDE) de novos níveis mínimos de escala de produção (FURTADO, 2007; BENEVIDES, 2003; SOTO, 1992; ZAEYEN, 1986).

No que diz respeito ao Plano Especial de Obras Públicas e Aparelhamento da Defesa Nacional, o qual ocorreu na época da Segunda Guerra Mundial e tinha grande preocupação com a soberania e a defesa nacional, os objetivos eram criar indústrias de base, como a siderurgia, petroquímica, papel e celulose, além de executar obras públicas e prover a defesa nacional de elementos necessários a seu desenvolvimento. Este Plano não era focado no setor de papel e celulose e pode ser considerado como a primeira experiência de planejamento global dos investimentos públicos, tendo marcado a entrada do governo na área das indústrias de base.

Dentre as primeiras experiências com maior foco para papel e celulose, podemos destacar o Plano de Metas no governo Juscelino Kubitschek, Política de Incentivos Fiscais de 1966 (Lei 5.106), fixação pelo BNDES de níveis mínimos de escala de produção, e fixação pelo Conselho de Desenvolvimento Econômico (CDE) de novos níveis mínimos de escala de produção, que datam de meados do século XX até os anos 80. Estas políticas são resumidas na Tabela 67.

Tabela 67–Principais políticas de incentivo ao papel de meados do século XX

Políticas	Ano	Descrição	Resultados
Plano de Metas	1956-61	Tinha como objetivo a modernização gerencial e tecnológica da indústria nacional e a expansão da produção interna de papel de imprensa e jornal (BNDES, 2002). Meta de produção em 1960: 130 mil t de papel no ano e 260 mil t de celulose (Santos, 2008)	Produção de papel chega a apenas 60 mil t/ano. A produção de celulose alcança 210 mil t em 1960 e 298 mil t em 1962 (Santos, 2008)
Política de Incentivos Fiscais de 1966 (Lei 5.106)	1966-87	Política de reflorestamento, que utilizava os incentivos fiscais como principal instrumento. Ao permitir a dedução de imposto de renda para investimentos em plantios florestais, a mesma propiciou a formação da base florestal brasileira, que deveria, prioritariamente, suprir a indústria siderúrgica com carvão vegetal e a indústria de celulose com madeira (FARINHA E SILVA et al., 2017). Constituiu-se no maior estímulo do setor público brasileiro à capitalização da indústria de base florestal no país e, ao mesmo tempo, no redirecionamento da busca de matéria-prima que até então ocorria sobre a floresta natural (HERDE, 1992).	Até o ano de 1985, o antigo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), autorizou o plantio de 5.800.000 hectares, por diferentes projetos, com a utilização de incentivos fiscais. As espécies que tiveram maior presença nesses projetos foram: Pinus sp, Eucaliptus sp, Araucária angustifolia, palmito e algumas espécies frutíferas (SANTANA, 1999). Ainda na fase de maturação do negócio florestal no Brasil, houve uma rápida expansão e diversificação, podendo-se destacar o crescimento das indústrias de papel e celulose, siderurgia, bem como o desenvolvimento da indústria de painéis reconstituídos. Além disso, a produção de serrados e
Níveis mínimos de escala de produção fixados pelo BNDES e CDE	1968 e 1972	Em 1968, o BNDES passou a contemplar projetos de implantação e expansão de unidades produtoras de papel, com escala mínima de 250 toneladas/dia de papel de imprensa e cinquenta toneladas/dia de papel dos demais tipos. Para os projetos de produção de celulose, a escala mínima seria de 100 toneladas/dia. Além disso, a decisão estabelecia que a colaboração financeira ficava condicionada à demonstração de que a empresa dispunha de suprimento próprio de fibras, equivalente a no mínimo 50% das necessidades calculadas. Incentivava-se, ainda, a investigação tecnológica do uso de celulose de eucalipto na fabricação de papel de imprensa e a elaboração de normas técnicas para o setor, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No início do ano de 1972, novos níveis mínimos de escala de produção foram fixados, pelo Conselho de Desenvolvimento Econômico (CDE), sendo os mesmos adotados também pelo BNDES (BNDES, 2002).	Aumentos expressivos de produção no período e início das exportações (BNDES, 2002).

Fonte: Elaboração própria baseado em Herde (1992), Santana (1999), BNDES (2002), Santos (2008), Farinha e Silva et al. (2017).

Entre os meados dos anos 70 e o fim do século XX, duas novas políticas foram feitas com um grande foco no desenvolvimento do setor de papel e celulose, o Primeiro Programa Nacional de Papel e Celulose (I PNPC) (1974 -1980) e o Segundo Programa Nacional de Papel e Celulose (II PNPC) (1987-1995). Durante a execução destes programas o Brasil aumentou sua capacidade produtiva expressivamente, assim como as exportações do setor. Grandes projetos e unidades de produção de papel e celulose entraram em operação durante o período de vigência dos planos, como a Aracruz Celulose, ampliação do grupo Votorantim e implantação da Bahia Sul Celulose S/A, cuja atual razão social é Suzano Papel e Celulose. Um resumo dos PNPCs pode ser observado na Tabela 68.

Tabela 68 – Primeiro e Segundo Programa Nacional de Papel e Celulose

Política	Ano	Sobre a Política	Medidas	Financiamento	Resultados
Primeiro Programa Nacional de Papel e Celulose (I PNPC)	1974 - 80	O Programa estabeleceu uma política de incentivos e subsídios voltada para o segmento. Os incentivos fiscais voltaram-se para o reflorestamento e para tecnologias de toda a cadeia produtiva, no esforço de melhorar a competitividade das empresas nacionais perante o mercado externo (CGEE, 2010)	· Apoiar ampliações e modernizações das unidades industriais existentes; · Estimular a implantação de novas fábricas de papel, celulose e pasta mecânica, bem como a fusão, incorporação ou outras formas de associação de empresas do setor, visando a melhorar a eficiência e obter economias de escala; · Estimular a pesquisa para ampliar a substituição de fibra longa por fibra curta na fabricação de papel em geral, com especial ênfase no papel de imprensa; · Estimular o desenvolvimento da reciclagem de papéis; · Apoiar medidas que incentivassem a liberação de reservas florestais pertencentes às indústrias siderúrgicas, concedendo estímulos financeiros para a conversão dos altos fornos à base de carvão vegetal, de modo que estes pudessem trabalhar com coque metalúrgico; · Estimular a compra de equipamentos nacionais, assim como a contratação de serviços de engenharia em empresas brasileiras; · Estimular a participação da FIBASE – Insumos Básicos S/A (1), quando necessário, para o fortalecimento da empresa nacional; · Estimular a redução dos efeitos poluidores das unidades fabris, bem como a recuperação de produtos químicos empregados no processo industrial; · Estimular a integração floresta-indústria, em termos espaciais e empresariais, evitando a dispersão de recursos florestais e minimizando os custos de exploração, transporte e produção; e · Apoiar a pesquisa florestal, com o objetivo de obter melhoria dos resultados técnicos e econômicos no reflorestamento, na introdução, seleção e melhoria de espécies, no espaçamento, na adubação, na mecanização, na exploração florestal, etc.	Governo Federal destinou cerca de US\$ 466.846.200,00 ao setor celulósico-papeleiro entre 1974 e 1980, não só mediante financiamentos do por meio do então BNDE (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico), mas também pela participação acionária do BNDE e de estatais com a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) em empresas de papel e celulose (SILVESTRE & RODRIGUEZ, 2007). Os Estados, por sua vez, também encontraram formas de incentivar a indústria de celulose, especialmente por isenções fiscais. De acordo com BNDES (2002), o percentual do total das operações aprovadas (em valor) para o setor de celulose e papel, em relação ao total das operações aprovadas pelo BNDES, foi expressivo nos anos de 1974 (9%), 1975 (7%), 1976 (9%) e 1979, chegando a 55% nesse último ano.	Segundo Santana (1999), um número considerável de projetos novos entrou em operação no decorrer da vigência do I PNPC, em sua grande maioria substitutivos de importações, tanto para produção de papel quanto de celulose. Para o setor de papel, as metas estabelecidas para o ano de 1980, à exceção da produção de papel jornal, foram atingidas. Em relação à celulose, os resultados obtidos estiveram abaixo das metas pré-estabelecidas, que era de 4.200 mil toneladas. Ainda assim, no período 1974 -1980, o setor conseguiu materializar um crescimento de 150%. Em 1980, as exportações de celulose atingiram 890 mil toneladas (45% do previsto). A entrada em operação de duas grandes indústrias, a Aracruz Celulose e a Cenibra, as duas financiadas pelo BNDES, ocorreu neste período. A Aracruz, instalada no Espírito Santo na década de 1970, obteve 55,2% de investimentos do então BNDE na fase de instalação. Durante as diversas fases de implantação, o projeto recebeu mais colaborações financeiras do banco, tornando-se este acionista da Aracruz Celulose com 33,32% do capital total. Além destas também houve a implantação da RioCell S/A e Jari Celulose S/A (MONTEBELLO & BACHA, 2013).
Segundo Programa Nacional de Papel e Celulose	1987 - 95	Elaborado pela ANFPC, foi aprovado em agosto de 1987, no governo do Presidente José Sarney, visando a assegurar o comprometimento do Estado brasileiro com os projetos do setor. Seu foco principal era o aumento das exportações, o aumento da produção e o estímulo à abertura de capital das empresas (SILVA, 2007)	· Investimentos de Cz\$ 272 bilhões - equivalente a US\$ 6,071 bilhões (taxa de câmbio de Cz\$ 44,806 por US\$1,00), no período 1987/1995; · Expansão da produção de fibras e papéis, para atender o mercado interno e criar excedentes exportáveis que permitissem a continuidade da participação brasileira no mercado internacional de fibras curtas e de papéis; · Implantação ou reforma de florestas destinadas ao auto abastecimento da estrutura industrial já existente: o II PNPC estabelecia um plantio de 82.030 ha, os quais, somados aos reflorestamentos já existentes, possibilitaria ao país atingir um total de 974.190 hectares reflorestados (cabe destacar que, desse total, 67% correspondem a áreas reflorestadas com incentivos e 33% com recursos próprios); · Duplicar a capacidade produtiva instalada de celulose até 1995; e · Estimular a participação de novos investidores que possuíssem reconhecida capacidade financeira e competência empresarial, a fim de colaborar na expansão e desenvolvimento do setor.	De acordo com Silva (2007), no âmbito deste programa, o BNDES deixou as atividades de fomento para atuar na capitalização das empresas, articulando sua entrada no mercado de capitais. O banco também passou a vender participações acionárias e empresas controladas, e um desses movimentos levou à ampliação do Grupo Votorantim, através da aquisição da Cepalv, o qual já era acionista da RioCell, e que depois adquiriu a Indústria de Papel Simão.	O último grande projeto do programa resultou na implantação da Bahia Sul Celulose S/A, cuja atual razão social é Suzano Papel e Celulose, uma <i>joint-venture</i> da Suzano e Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), para a produção de celulose de fibra curta de eucalipto, papéis para imprimir e escrever (revestidos e não revestidos) e papel cartão (MONTEBELLO & BACHA, 2013). O Banco Mundial, através do <i>International Finance Corporation</i> (IFC), financiou uma pequena parcela do empreendimento. Como resultado deste projeto, o Brasil apareceu, no final da década de 1990, como o principal fornecedor de celulose de fibra curta de eucalipto, participando com mais de 50% da produção mundial (KUDLAVICZ, 2011).

(1) A FIBASE foi criada como uma subsidiária do BNDE, juntamente com a EMBRAMEC (voltada para bens de capitais) e a IBRASA (voltada para outros setores). Em 1982, surgiu a BNDESPAR, como uma fusão da FIBASE, EMBRAMEC e IBRASA.

Estes programas estabeleceram as bases da indústria de papel e celulose atual. Atualmente, a principal política de estímulo é via BNDES, através de linhas de financiamento, que tem como objetivo principal estimular o crescimento de determinados setores econômicos, como mencionado anteriormente.

4.2 POLÍTICA DE USO RACIONAL DE RECURSOS

Estimular o uso racional de recursos é indispensável ao desenvolvimento econômico e social do país. Observa-se, nesse sentido, que, desde o início dos anos 1980, diversas iniciativas no Brasil vêm buscando promover normas e padrões de eficiência energética, por exemplo. Assim, discussões no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) levaram a criação, por exemplo, do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), em 1984, do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) em 1985, cuja gerência fica a cargo da Eletrobrás, do Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás (Conpet), de responsabilidade da Petrobras em 1991, e do Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) em 1992 (LEITE, 2013).

4.2.1 HISTÓRICO DOS PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS

Dado o foco no setor industrial brasileiro, será discutida a política de uso racional de recursos, concentrando-se nas medidas de conservação de energia e de eficiência energética. A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até o seu aproveitamento. Segundo MCTI (2016a), adotam-se como pressupostos básicos a manutenção das condições de conforto, de segurança e de produtividade dos usuários, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a mitigação dos impactos ambientais.

Equipamentos, projetos e processos industriais mais eficientes e uso de cogeração, por exemplo, reduzem a demanda por energia, logo usar a energia de forma eficiente pode ser menos dispendioso do que gerar mais energia e traz benefícios econômicos e ambientais. Um planejamento eficiente com relação à matriz energética deve levar em conta medidas de eficiência e redução de desperdícios no consumo de energia.

Ressalta-se que historicamente tais medidas foram realizadas pelo governo federal como uma forma de evitar os efeitos das crises de origem externa, notadamente o aumento nos preços do petróleo e o aumento nas taxas de juros que afetaram a balança comercial. Como resultado, uma série de leis, decretos e resoluções foi implementada objetivando a promoção da eficiência energética no país, conforme descrição do marco regulatório que se segue (BRASIL, 2011; MCTI, 2016a):

Em 1981, por meio da Portaria MIC/GM46 foi criado o Programa Conserve, visando à promoção da conservação de energia na indústria, ao desenvolvimento de produtos e processos energeticamente mais eficientes, e ao estímulo à substituição de energéticos importados por fontes alternativas domésticas.

O Programa Conserve tinha por objetivo estimular a conservação e a substituição do óleo combustível consumido na indústria, especialmente na indústria siderúrgica, de papel e celulose e de cimento. O incentivo foi dado no sentido de que se aproveitasse a capacidade excedente de geração elétrica hidráulica para a geração de calor nas indústrias (eletrotérmica). Já no ano seguinte, 1982, o Decreto Nº 87.079 aprovou as diretrizes para o Programa de Mobilização Energética (PME), que reuniu conjunto de ações dirigidas à conservação de energia e à substituição de derivados de petróleo.

Após dois anos, em 1984, o INMETRO implementou o Programa de Conservação de Energia Elétrica em Eletrodomésticos tendo por objetivo reduzir o consumo de energia em equipamentos como refrigeradores, congeladores e ar condicionados de ar domésticos. Em 1992 este programa foi renomeado para Programa Brasileiro de Etiquetagem tendo sido preservadas suas atribuições iniciais e foram agregados os requisitos de segurança e o estabelecimento de ações para a definição de índices mínimos de eficiência energética, resultado na criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), em 1985, e do Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet), em 1991.

Também em 1991 foi criada a instância da Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE), por meio do Decreto Nº 99.656, a ser institucionalizada em cada estabelecimento pertencente a órgão ou entidade da Administração Federal direta e indireta, fundações, empresas públicas e sociedades de economia mista controladas direta ou indiretamente pela União, que apresente consumo anual de energia elétrica superior a 600.000 kWh ou consumo anual de combustível superior a 15 tons. À CICE cabia a elaboração, a implantação e o acompanhamento das metas do Programa de Conservação de Energia e a divulgação dos seus resultados nas dependências de cada estabelecimento. Dois anos depois, em 1993, foi instituído o Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e o Selo Verde de Eficiência Energética, com o objetivo de identificar os equipamentos que apresentem níveis ótimos de eficiência no consumo de energia.

No ano 2000, foi promulgada a Lei Nº 9.991, que dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. No ano seguinte, com a crise energética ocorrida no país, foi criada a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, também conhecida como Lei de Eficiência Energética, por meio da Lei Nº 10.295 de 17 de outubro de 2001. De maneira geral, ela visa fixar índices para eficiência energética tanto em equipamentos quanto em edificações (BRASIL, 2001).

Em termos concretos, a Lei determina que cabe ao Poder Executivo estabelecer os níveis máximos de consumo específico de energia ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país e que um ano após a publicação dos níveis de eficiência, os fabricantes e importadores tomem as medidas necessárias a fim de atender as metas. Ao Poder Executivo também cabe desenvolver mecanismos para a promoção da eficiência energética nas edificações construídas no Brasil. O Decreto Nº 4.059 regulamenta a Lei da Eficiência

Energética determinando os procedimentos para o estabelecimento dos indicadores e dos níveis de eficiência energética e também instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE).

Em 2004, a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tem como finalidade fortalecer o planejamento do setor de energia, a partir da prestação de serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, em áreas que incluem entre outras fontes energéticas renováveis e eficiência energética. Assim, em 2011, o fortalecimento do planejamento do setor de energia culminou na publicação do primeiro Plano Nacional de Energia (PNE 2030) pela EPE. O tema da eficiência energética foi incorporado ao plano e aos estudos que lhe deram origem e, em sequência, também aos Planos Decenais de Energia (PDE). Ademais, foi publicado também em 2011 um plano específico, o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf).

Ressalta-se, entretanto, que mesmo com a criação de todos esses planos, programas e iniciativas, o país ainda está muito atrás em *rankings* internacionais de eficiência energética. De acordo com o *ranking* elaborado pelo Conselho Americano para uma Economia Energeticamente Eficiente (*American Council for an Energy-Efficient Economy*, sigla em inglês ACEEE), o Brasil figura na penúltima posição de uma lista de 16 países. Segundo o Conselho, falta ao Brasil que estes padrões e normas criados sejam obrigatórios, ao invés de apenas informativos e voluntários, além de que os selos são aplicados a uma gama pequena de equipamentos (CEBDS, 2016).

4.2.2 PRINCIPAIS PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS

O Brasil possui, há pelo menos três décadas, programas de uso racional de recursos, dentre eles de eficiência energética. A seguir, será realizada uma discussão dos marcos regulatórios e das iniciativas incentivadas pelo governo com o objetivo de incentivar o uso racional dos recursos no país.

4.2.2.1 PROCEL

Por meio da Portaria interministerial Nº 1.877 do MME e do MDIC, foi instituído o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que tem por objetivo promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais, contribuindo indiretamente para a redução dos impactos ambientais decorrentes das emissões de GEE evitadas.

O Procel estabelece metas de redução de conservação de energia que são consideradas no planejamento do setor elétrico, dimensionando as necessidades de expansão da oferta de energia da transmissão. Entre elas, destacam-se:

- redução nas perdas técnicas das concessionárias;
- racionalização do uso da energia elétrica; e

- aumento da eficiência energética em aparelhos elétricos.

Desde a sua criação, de acordo com MCTI (2016a), os resultados energéticos obtidos possibilitam a postergação de investimentos no setor elétrico, a redução nas emissões de GEE (CO₂eq), além de incentivar o desenvolvimento tecnológico de equipamentos consumidores de energia elétrica, por meio da promoção do Selo Procel Eletrobras de Economia de Energia e por meio de apoio ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), do INMETRO.

O Procel utiliza recursos da Eletrobras e da Reserva Global de Reversão (RGR) e é responsável por um total de economia de energia de 70,1 bilhões de kWh desde a sua criação (Tabela 69 a seguir). A título de comparação, para essa quantidade de energia ser gerada em um ano, é necessária uma usina hidrelétrica de 16.812 MW de capacidade instalada (segundo padrões de perdas no sistema elétrico brasileiro e de fator de capacidade para hidrelétricas (ELETROBRAS, 2014).

Em 2013, a economia de energia do programa somente neste ano correspondeu a 7,80% do consumo total de energia elétrica residencial do Brasil (ELETROBRAS, 2014). Também, somente com os resultados obtidos pelo programa em 2013, foi possível evitar uma emissão de 935 mil tCO₂eq.

Tabela 69: Procel – Investimentos e resultados obtidos (1986-2013)

	1986 / 2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Investimentos Eletrobras/Procel (R\$ milhões) ⁷⁹	252	27,2	37,2	29,2	13,6	5,5	38	38,7	31,3	31	21,3
Investimentos GRG ⁸⁰ (R\$ milhões)	412	54	44,6	77,8	39,2	25,8	72,8	55,7	78,9	47,5	13,3
Energia Economizada (bilhões de kWh/ano)	17,2	2,4	2,2	2,9	3,9	4,4	5,5	6,2	6,7	9,1	9,7
Redução de Demanda na Ponta (MW)	4.633	622	585	772	1357	1569	2098	2425	2619	3458	3.769
Usina Equivalente	4.033	569	518	682	942	1.049	1.213	1.478	1.606	2.182	2.337

Fonte: Elaboração própria a partir de Procel, com base em 2013⁸¹.

⁷⁹ Refere-se somente aos recursos orçamentários do Procel efetivamente realizados em cada ano, não sendo considerados os salários do pessoal Eletrobras/Procel.

⁸⁰ Reserva Global de Reversão.

⁸¹ Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={EC4300F8-43FE-4406-8281-08DDF478F35B}>>. Acessado em: 21 abr 2017.

É importante destacar que o Procel é constituído por uma ampla gama de áreas de atuação, com destaque no caso do setor industrial para o Procel Selo e o Procel Indústria, conforme ressalta MCTI (2016a):

- Procel Selo: foi instituído por Decreto Presidencial no 8 de dezembro de 1993. O Selo Procel tem por objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria, proporcionando, assim, economia na conta de energia elétrica. Também estimula a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente. Em 2013, já são 36 categorias de produtos que possuem Selo Procel, envolvendo 187 fabricantes e 3.748 modelos participantes. Os resultados energéticos do Selo Procel Eletrobras em 2013 totalizaram 9.578GWh de energia economizada e 3.733MW de demanda retirada;
- Procel Indústria: desenvolve atividades de incentivo à eficiência energética por meio de convênios e protocolos com federações estaduais de indústrias, Confederação Nacional da Indústria (CNI), universidades, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e associações de classe. O principal foco são projetos de otimização de sistemas motrizes (acionamentos, motores elétricos, transmissão mecânica, cargas acionadas e instalações fluidomecânicas), tendo em vista que estes são responsáveis por cerca de 62% do consumo de energia elétrica no setor industrial e 25% do consumo total de eletricidade no país;
- Procel Edifica: voltado a tratar da eficiência energética nas edificações por meio de ações que incluem pesquisa e apoio à produção de novas tecnologias, materiais e sistemas construtivos e, estímulo ao desenvolvimento de equipamentos eficientes utilizados em edificações. Da parceria com o Inmetro surgiu o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, que define os procedimentos necessários para que as edificações brasileiras incorporem continuamente conceitos de sustentabilidade na sua construção ou reforma e também durante o seu uso/operação;
- Aquecimento Solar de Água em Residências: estímulo ao uso de sistemas de aquecimento solar;
- Procel EPP: as ações do Programa de Eficiência Energética nos Prédios Públicos, que estipulava a redução imediata do consumo médio em edificações da administração pública em 17,5%, tendo como base o consumo de janeiro de 2000. O Procel EPP desenvolve as seguintes ações: apoio aos agentes envolvidos na administração de prédios públicos; promoção de projetos demonstração; suporte à

normatização; implantação de infraestrutura; apoio às concessionárias de energia elétrica em projetos de eficiência energética no âmbito de prédios públicos;

- Procel Gestão Energética Municipal (GEM): ajuda as prefeituras e demais esferas públicas de governo a gastar menos com energia elétrica. Para isso, colabora com o administrador público na gestão e no uso eficiente da energia nas unidades consumidoras sob sua gestão, na identificação de oportunidades para minimizar os desperdícios e no monitoramento dos gastos com energia elétrica;
- Procel Reluz: realiza a implantação de projetos de eficiência energética nos sistemas de iluminação pública e sinalização semafórica, por meio da substituição de equipamentos obsoletos por outros mais eficientes. Somente em 2013, a economia de energia elétrica e a redução de demanda decorrentes dos projetos e ações do Procel Reluz corresponderam respectivamente a 23.654,04 MWh e 5.400 kW;
- Procel Sanear: é o programa de Eficiência Energética voltado para a área de saneamento ambiental. Desenvolve a promoção de ações de capacitação em eficiência energética dos profissionais de empresas de saneamento ambiental; o incentivo ao desenvolvimento de projetos que promovam a eficiência energética e o combate ao desperdício de água e energia no âmbito dos sistemas de saneamento e irrigação; e apoio às ações de pesquisa aplicada, desenvolvimento e inovação para a área;
- Procel Educação: atua com objetivo de contribuir para a construção de uma base de conhecimentos em eficiência energética, disseminando informações e disponibilizando recursos educacionais ao sistema formal do país;
- Procel Info: o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética tem como principais objetivos: criar e manter uma base de conhecimento dinâmica sobre eficiência energética, a partir de informações produzidas no Brasil e no exterior, e disseminá-la para os públicos interessados pelo tema; facilitar a integração e a colaboração entre os agentes que atuam na área de eficiência energética. Foi criado um portal eletrônico que congrega informações sobre a eficiência energética no Brasil e os resultados obtidos pelo Programa Procel⁸².

⁸² Mais informações em: <<http://www.procelinfo.com.br>>

4.2.2.2 CONPET

Foi instituído por meio de Decreto Presidencial o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural (Conpet) com o objetivo de promover o desenvolvimento de uma cultura anti-desperdício no uso dos recursos naturais não renováveis no Brasil em diversos setores, com ênfase nas residências, nas indústrias e nos transportes. Os principais objetivos do Conpet são:

- racionalizar o consumo dos derivados do petróleo e do gás natural;
- reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera;
- promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico; e
- fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia.

O Conpet tem, ainda, o objetivo de conscientizar os consumidores sobre a importância do uso racional de energia para o desenvolvimento sustentável e melhor qualidade de vida. Este trabalho de esclarecimento da população para a necessidade de utilizar os recursos energéticos de forma consciente é realizado por meio das suas áreas de atuação: Eficiência Energética de Equipamentos, Conpet na Educação e Conpet no Transporte.

Para a eficiência energética de equipamentos, desenvolveu-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que é coordenado e regulamentado pelo INMETRO e executado em parceria com o Conpet. Esse programa fornece informações sobre o desempenho dos produtos, considerando atributos como a eficiência energética, o ruído e outros critérios que podem influenciar a escolha dos consumidores que, assim, poderão tomar decisões de compra mais conscientes (MCTI, 2016a). Ele também estimula a competitividade da indústria, que deverá fabricar produtos cada vez mais eficientes.

O Conpet na Escola é direcionado para professores do ensino fundamental e de cursos técnicos das redes pública e privada. Os professores recebem informações sobre petróleo, gás natural e eficiência energética, por meio de vídeos educativos, folhetos e debates sobre os temas. No papel de multiplicadores do conhecimento apreendido são estimulados a incorporar as informações ao conteúdo programático de suas disciplinas.

Por fim, o Conpet no Transporte, para os veículos pesados, tem o objetivo de promover o aumento da eficiência no uso do óleo diesel em ônibus e caminhões. Como resultado, além da economia de combustível, ocorre a redução da fumaça preta e de gases associados ao efeito estufa. Ainda no setor de transporte, além do Conpet no Transporte e do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBE-V), faz-se importante destacar o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), coordenado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), que definiu os primeiros limites de emissão para veículos leves e contribuiu para o atendimento aos padrões de qualidade do ar instituídos pelo Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (Pronar).

Em 1993, a Lei Nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, endossou a obrigatoriedade de reduzir os níveis de emissão dos poluentes de origem veicular, contribuindo para induzir o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes de combustíveis, motores e autopeças e permitindo que veículos nacionais e importados passassem a atender aos limites estabelecidos (BRASIL, 1993a). O cumprimento dessas exigências é aferido por meio de ensaios padronizados em dinamômetro e com “combustíveis de referência”. Além disso, o Proconve também impõe (MCTI, 2016a):

- a certificação de protótipos e o acompanhamento estatístico em veículos na fase de produção (ensaios de produção);
- a autorização do Ibama para uso de combustíveis alternativos;
- o recolhimento ou reparo de veículos e motores encontrados em desconformidade com a produção ou projeto; e
- a proibição da comercialização de modelos de veículos não homologados.

A homologação de protótipos é, de fato, o maior sustentáculo do Proconve e faz com que as montadoras apliquem conceitos de projetos que assegurem um baixo potencial poluidor aos veículos novos e uma taxa de deterioração das emissões ao longo de sua vida útil tão baixa quanto possível.

Assim, ao contrário do Procel, o Conpet não possui uma ação que diretamente se refere ao setor industrial, mas afeta este setor ao estabelecer um programa de etiquetagem de equipamentos, tanto sob a ótica do produtor destes equipamentos, quanto sob a ótica da instalação industrial que adotará equipamentos certificados.

4.2.2.3 *POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LOGÍSTICA REVERSA*

Visando criar mecanismos políticos para coibir o manejo inadequado dos resíduos sólidos, fomentando o uso racional dos recursos, foi criada a Lei Nº 12.305/10, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010a), também conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Ainda assim, a geração de resíduos sólidos continua crescendo no Brasil.

Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) mostram que em 2015 foi gerado 79,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos - RSU (ABRELPE, 2016). Se comparado ao ano anterior, um aumento de 1,7%, o que representa um crescimento de geração de RSU per capita de 0,8%. Em 2016 observa-se queda da geração de resíduos comparado a 2015, o volume total e per capita reduziram, respectivamente, 2,0% e 2,9%, porém, sem que tenha havido uma melhoria em relação a destinação correta de todo o lixo. No ano de 2015, de acordo com Abrelpe (2016), 41,3% dos resíduos sólidos gerados não foi encaminhado para uma destinação adequada (Idem, 2016). Isto acarreta em desperdício de materiais que poderiam ser reutilizados ou reciclados, causando impactos socioambientais, incluindo emissão de metano, um dos gases de efeito estufa, e liberação de chorume.

O gás metano liberado pelos aterros sanitários e lixões contribui para as emissões de GEE do país. As estimativas das emissões globais de metano, provenientes dos aterros, oscilam entre 20 e 70 Tg/ano, enquanto que o total das emissões globais pelas fontes antropogênicas equivale a 360 Tg/ano, indicando que os aterros podem produzir cerca de 6 a 20 % do total de metano (IPCC, 1995).⁸³

Atualmente, alguns instrumentos foram instituídos pela PNRS, como, por exemplo, a logística reversa e a reciclagem. Segundo a PNRS, responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos consiste no:

“(...) conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei. (BRASIL, 2010a)”.

4.2.2.3.1 LOGÍSTICA REVERSA

A logística reversa é um instrumento que busca aplicar procedimentos que viabilizem ao reuso, re-manufatura e reciclagem de resíduos sólidos gerados pelo ciclo de produção. Assim, o setor industrial, responsável pela geração destes, poderá reutilizar em novos ciclos ou direcionar a uma disposição final adequada. Para que a logística reversa de fato seja implantada, existem os acordos setoriais entre o governo e o setor industrial.

No que diz respeito às embalagens de vidro, a logística reversa, assim como as plásticas e metálicas, depende de acordos setoriais ou regulamentos específicos para serem implantadas, não sendo a princípio obrigatórias (BRASIL, 2010a). Um Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Embalagens em Geral foi assinado no dia 25 de novembro de 2015 entre o MMA e empresas e associações diversas do setor de embalagens, desde fabricantes até comerciantes⁸⁴. Este acordo está dividido em duas fases, tendo a etapa inicial duração de 24 meses. Nesta etapa as ações se concentraram nas cidades e regiões metropolitanas de Belo Horizonte, Cuiabá, Curitiba, Distrito Federal, Fortaleza, Manaus, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo. A partir de dados da primeira fase, os participantes devem poder identificar os gargalos para a logística reversa nos setores e serem capazes de estabelecer estratégias (SINIR, 2015).

O objetivo é a implantação do sistema de logística reversa das embalagens contidas na fração seca dos resíduos sólidos urbanos ou equiparáveis. Assim, fabricantes, importadores, comerciantes e

⁸³ Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogás-de-aterro-sanitário>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

⁸⁴ Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/web/quest/embalagens-em-geral>. Acesso em: 02 ago 2017.

distribuidores de embalagens e de produtos comercializados em embalagens se comprometeram a trabalhar de forma conjunta para garantir a destinação final das embalagens que colocam no mercado, garantindo seu reaproveitamento (SINIR, 2015).

Apesar de o acordo ter sido implantado, em 2016, segundo ABIVIDRO (2016), ainda existe dificuldade em se cumprir a logística reversa, especialmente em municípios distantes dos grandes centros. No setor de vidros, uma parte do volume de vidro coletado em regiões longe do Sul e Sudeste não chega na sua destinação final, devido ao alto custo da logística reversa em algumas localidades (ABIVIDRO, 2016).

4.2.2.3.2 RECICLAGEM

Já a reciclagem figura como uma das ações prioritárias na gestão dos recursos, reintroduzindo o material na cadeia produtiva. O aço se configura como um dos materiais mais recicláveis e reciclados do mundo. Em 2015, foram recicladas 9,3 milhões de toneladas de sucata de aço no Brasil⁸⁵. Além disso, os setores de alumínio, papel e plástico também apresentam um índice de reciclagem de destaque no país. No segmento de latas de alumínio, por exemplo, o país, em 2014, injetou R\$ 845 milhões diretamente na coleta de latinhas, atingindo um índice de reciclagem de 98,4% (aproximadamente 261 mil toneladas), considerado um dos melhores do mundo (ABRELPE, 2016). Segundo Rego (2016), a reciclagem de alumínio representa hoje um terço da demanda doméstica do metal e a atividade conta com um mercado maduro e estabelecido em todo o país, com centros de coleta, facilidade de transporte e venda.

Em relação ao papel, de acordo com ANAP (2016), o volume de aparas de papel coletado em 2015 foi de 4,78 milhões, sendo o papel para embalagem responsável por 81% deste valor. Além disso, segundo o relatório, chegou-se a uma taxa de reciclagem de 63,4% em 2015, número este que pode ser considerado excelente, mas, que é resultado não apenas do aumento do volume recuperado como também da redução do consumo aparente de papéis.

No que diz respeito ao PET, dados da Associação Brasileira da Indústria de PET apresentam uma taxa de reciclagem, em 2015, de 51% (ABRELPE, 2016).

O setor de vidros possui um alto percentual de reciclagem. Em 2011, a reciclagem da embalagem de vidro no Brasil estimada era de 47% (CEMPRE, 2016). Trata-se de um material (vidro) que possui alto potencial de reciclagem, já que é teoricamente 100% reciclável, além de poder ser aproveitado inúmeras vezes (CNQ, 2015a).

⁸⁵ Fonte: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/reciclagem.html>.

4.2.2.4 ISO 14.040 E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

De acordo com ABNT (2001), a ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto, a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas e a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos. Assim, a ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto, desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição (“do berço ao túmulo”).

Em 2001, houve a criação pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) da norma ISO 14.040, designada como “Gestão Ambiental, Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Estruturas”, com o propósito de estimular o desenvolvimento da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de determinado produto. A abordagem da ACV visa que seja considerado o impacto ambiental de todas as etapas desde a extração da matéria-prima até a disposição final (ABNT, 2001).

A ISO 14.040 e a própria ACV são ferramentas que impactam diretamente no uso racional dos recursos, uma vez que fomentam a consciência ambiental quando do consumo/descarte de um produto, reduzindo o impacto na oferta das matérias-primas necessárias ao processo produtivo. Nesse sentido, observa-se que inúmeras iniciativas vêm buscando disseminar o uso de ACV, como é o caso da criação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV)⁸⁶ e o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil), um banco de dados para agregar os Inventários de Ciclo de Vida.

As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas. Segundo ABNT (2001), a ACV pode ajudar na(o):

- identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais dos produtos em vários pontos de seu ciclo de vida;
- tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não-governamentais (por exemplo, planejamento estratégico, definição de prioridades, projeto ou reprojeto de produtos ou processos);
- seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição; e
- marketing (por exemplo, uma declaração ambiental, um programa de rotulagem ecológica ou uma declaração ambiental de produto).

⁸⁶ Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000234.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2017.

Pode-se ressaltar, por exemplo, que o conceito de ACV está presente em uma série de programas, dentre os quais se pode destacar o RenovaBio, que traz a lógica do ciclo de vida para certificação de biocombustíveis.

4.2.2.5 *POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS E USO RACIONAL DA ÁGUA*

A água é um dos mais importantes recursos naturais, pois afeta não apenas o consumo de água em si, mas a produção de alimentos e a geração de energia elétrica tanto residencial, quanto comercial e industrial, fortemente dependente da geração hidrelétrica. Globalmente, observa-se o crescimento da extração de água de a 1% a 2% ao ano, aumentando o estresse hídrico de inúmeras bacias (CEBDS, 2015). Além disso, as mudanças climáticas vêm afetando os padrões pluviais causando secas, como as que afetaram o sudeste brasileiro em 2014 e 2015, e trazendo enchentes para outras regiões.

No Brasil, desde 1997, existe a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), promovida pela Lei Nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, que orienta o gerenciamento hídrico do país e busca desenvolver políticas públicas que promovam a melhoria da qualidade e quantidade da água (BRASIL, 1997). Esta instituiu o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a hierarquia mais alta do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, responsáveis pela efetiva implementação do gerenciamento adequado dos recursos hídricos. Ainda, há a Agência Nacional de Águas (ANA), criada em 2000 com o objetivo de disciplinar a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos de gestão criados pela Política Nacional de Recursos Hídricos.

Com a abundância de recursos hídricos no país, o uso racional deste tem deixado a desejar, o que traz problemas não apenas no consumo de água pela população, mas também às atividades econômicas intensivas no uso de água, por exemplo, indústria de alimentos e bebidas. Observa-se que, segundo CEBDS (2015), aproximadamente 39% do esgoto gerado no país é tratado, com o restante sendo devolvido aos corpos hídricos. Além disso, 37% da água que passou pelo processo de tratamento é perdida em sistemas de distribuição ineficientes.

Não é trivial dirimir em que sentido a PNRH pode afetar a estratégia industrial brasileira para mitigação de gases de efeito estufa. No entanto, estudos de simulação de unidades de captura de carbono (CCS) em plantas industriais brasileiras (Rochedo *et al.*, 2016) indicaram, em particular para o caso de instalações de produção de cimento, que a restrição hídrica pode limitar esta opção.⁸⁷ É importante ressaltar que as opções de CCS demandam muita água em sua operação.

⁸⁷ Apenas 26% das plantas brasileiras de cimento estão localizadas em áreas com boa disponibilidade hídrica para realizar a captura de CO₂ através de absorção com aminas (Rochedo *et al.*, 2016).

4.2.3 INVESTIMENTOS EM P&D PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os investimentos anuais em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética, por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia, são regulamentados por lei⁸⁸, que obriga as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica a aplicar, anualmente, os percentuais mínimos de 0,5% tanto para pesquisa e desenvolvimento como para programas de eficiência energética na oferta e no uso final da energia. De acordo com MCTI (2016a), a partir de primeiro de janeiro de 2016, para as concessionárias e permissionárias cuja energia vendida seja inferior a 1.000 GWh por ano, o percentual mínimo a ser aplicado em programas de eficiência energética no uso final, atualmente de 0,25%, poderá ser ampliado para até 0,50%. Também as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica deverão aplicar, no mínimo, 60% dos recursos dos seus programas de eficiência para unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social⁸⁹.

As concessionárias de geração e empresas autorizadas à produção independente, bem como as concessionárias de serviços públicos de transmissão de energia elétrica, ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 1% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico. Exclui-se, por isenção, as empresas que gerem energia exclusivamente com base em instalações eólica, solar, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e cogeração qualificada⁹⁰.

Além disso, por meio do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), o Brasil estabeleceu a meta de redução de 10% do consumo de energia elétrica ao final do horizonte previsto no Plano Nacional de Energia (PNE 2030), ou seja, o ano de 2030. O MME, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) são órgãos cujas competências incluem ações diretamente relacionadas à promoção da eficiência energética. Para tal, as principais fontes de recursos são a Reserva Global de Reversão (RGR), o Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO) e os fundos setoriais.

⁸⁸ Regulamentado inicialmente pela Lei Nº 9.991, de 24 de julho de 2000, cuja redação final sobre este item é dada pela Lei Nº 12.212 de 2010.

⁸⁹ A Tarifa Social de Energia Elétrica é um desconto na conta de luz destinado às famílias inscritas no Cadastro Único com renda de até meio salário mínimo per capita ou que tenham algum componente beneficiário do Benefício de Prestação Continuada da Assistência Social. O desconto concedido varia de acordo com consumo de energia.

⁹⁰ Conforme nova redação da Lei Nº 9.991/2000 dada pela Lei Nº 10.438, de 26 de abril de 2002.

4.2.4 PRINCIPAIS PROGRAMAS DE FINANCIAMENTO DO BNDES PARA PROMOÇÃO DO USO RACIONAL DE RECURSOS

Uma possível barreira para que ações de uso racional de recursos e de eficiência energética não estejam expandindo no Brasil mais rapidamente seria a inadequação das linhas de financiamento atualmente existentes, com restrições e requisitos administrativos complexos. Atualmente, conforme destaca CEBDS (2016), existem linhas de financiamento do BNDES, por exemplo, o antigo Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), que atualmente ganhou novo nome, passando a se chamar BNDES Eficiência Energética, mantendo o foco em ações que diminuem o consumo de energia final, e o BNDES Finem – Eficiência Energética, linha de crédito para projetos acima de R\$5 milhões voltados a ações de aumento de eficiência energética e consequentemente diminuição do consumo de energia final.

4.2.4.1 BNDES EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (ANTIGO PROESCO)

O PROESCO foi criado em 2006 pelo BNDES com o objetivo de financiar projetos de combate ao desperdício e de racionalização do uso de energia final. Podem ser financiados projetos que comprovadamente contribuam para a economia de energia, aumentem a eficiência global do sistema energético ou promovam a substituição de combustíveis de origem fóssil por fontes renováveis.

Em 2015, a linha de crédito do PROESCO foi reformulada e ganhou um novo nome: BNDES Eficiência Energética. A nova linha passa a não estar restrita a empresas de serviços de conservação de energia (ESCOs), como no caso do PROESCO, podendo ser acessada por qualquer empresa com sede e administração no País

O objetivo das alterações feitas pelo banco foi promover em maior escala a eficiência energética. Assim, de acordo com informações disponíveis no *website* do BNDES⁹¹, entre as novas facilidades, o prazo de pagamento, que antes era de até 72 meses incluindo o período de carência, agora pode ser estendido, conforme a especificidade de cada projeto ou conjunto de investimentos.

O valor mínimo para operações foi estabelecido em R\$ 5 milhões, significativamente abaixo dos R\$ 20 milhões de patamar mínimo usualmente estabelecido nas linhas diretas do BNDES. Para atingir os R\$ 5 milhões, o cliente poderá agrupar investimentos em locais distintos na mesma operação, ou seja, seu plano de investimentos poderá contemplar um conjunto de projetos de eficiência energética a serem executados em diferentes locais, como, por exemplo, uma rede de hotéis, lojas ou unidades industriais.

⁹¹ Disponível em:

<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20150728_eficienciaenergetica>. Acesso em: 19 abr. 2017.

Para as operações abaixo desse R\$ 5 milhões, pode ser utilizada a linha BNDES Automático, produto operado pelos agentes financeiros credenciados.

O custo financeiro mantém como referência a TJLP, cuja alocação o BNDES reserva para os projetos que considera prioritários, conforme as mais recentes políticas operacionais do Banco. A participação máxima do BNDES como financiador foi mantida em até 70% do total do projeto.

Os tipos de empreendimentos apoiáveis estão agrupados em quatro categorias: repotenciação de usinas; redes elétricas inteligentes; edificações, com foco em ar condicionado, iluminação e geração distribuída (incluindo cogeração) para unidades novas ou já existentes (*retrofit*); e processos produtivos, com foco em cogeração, aproveitamento de gases de processo como fonte energética e outras intervenções a serem priorizadas pelo BNDES.

Conforme na linha anterior, como critérios de apoio, o solicitante deverá apresentar Projeto que permita identificar, analisar e acompanhar detalhadamente o conjunto de ações e metas, através do qual pretenda contribuir para a conservação do meio ambiente. Além disso, os investimentos realizados no projeto objeto de apoio do BNDES até o sexto mês anterior à data da apresentação do pedido poderão ser considerados para efeito de contrapartida ao projeto⁹².

4.2.4.2 BNDES FINEM – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

No nível mais alto do conjunto de políticas socioambientais do BNDES está a Política de Responsabilidade Socioambiental, que define princípios, diretrizes e a governança para o acompanhamento de sua implementação. Ela é implementada em algumas dimensões, dentre elas a de desenvolvimento de produtos, que se concentra nas soluções financeiras específicas que permitem aos clientes implementar projetos de impacto socioambiental positivo. Incluem-se aí linhas como o BNDES Finem – Eficiência Energética, além de programas como o Fundo Clima – temporariamente indisponível para novas solicitações⁹³, o fundo de investimentos BNDES Empresas Sustentáveis na Amazônia e o apoio não reembolsável BNDES Restauração Ecológica (SITAWI, 2016).

⁹² Mais informações em: <<http://www.abesco.com.br/pt/a-proesco/>>

⁹³ Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/programa-fundo-clima/programa-fundo-clima/!ut/p/z1/vvNbb9owFP4tfchjsHMIImTRVKUVNS1CvKcQvyAIO4imxg23I-u9noLRaBUzTpPnJ_o51vouPAQJzgBje0Aoryhlu9DID_ulSEZx6MLkx72YfTwaDnxU2oHqQdmuwwxlogQLqchJNx7N7DBFqpBaPEmbymj1fWbeiBV4AAKpiqVA2ynC2JXFAMFVXrYqfAgDVviQFLyArKG4JU1wasKGsxtLSBK8EbvWuXLPItBA9oBZNLTFx9Etc1fQJch86BJnSIZmkduO6pWaeZ-ScwyLHM3cD3Pist3p2eiQOeDuPtTFDprW0xH00rLwqo2KSS5mEveCEmwKGqtAP3e4_7WGcMoHiWeO55YN6HzfuGMiky7GH52CEYajK7tYelkL7Z97YLZhpleplyLVr__81-GFB8YTuVkf_Isl_xzDMcj_HoAJxAQUZ_rFY0o0PJmSI_FZj_58nUJquG5_sPGLHcCbQbQUoiiBishYZrpbpvBjRg3_eDnbpBxTeDXGik25Jxob>

O BNDES Finem – Eficiência Energética consiste em um programa de financiamento a partir de R\$ 10 milhões para projetos voltados à redução do consumo de energia e aumento da eficiência do sistema energético nacional. Ele é voltado às empresas sediadas no País e/ou às entidades e órgãos públicos. Os beneficiários podem ser proprietários dos empreendimentos financiados ou prestadores de serviço que executem projetos em unidades de terceiros.

Segundo informações disponíveis no *website* do BNDES⁹⁴, podem ser financiados os seguintes empreendimentos:

- eficiência energética de edificações, com foco em condicionamento de ar, iluminação, envoltória e geração distribuída, incluindo cogeração, para unidades novas ou já existentes (retrofit), conforme critérios definidos pelo BNDES;
- iluminação pública;
- eficiência energética de processos produtivos, com foco em cogeração, aproveitamento de gases de processo como fonte energética e outras intervenções priorizadas pelo BNDES;
- repotenciação de usinas; e
- redes elétricas inteligentes.

Além disso, são financiáveis itens como:

- estudos e projetos, inclusive diagnóstico energético;
- obras civis, montagens e instalações;
- aquisição de materiais permanentes;
- aquisição de máquinas e equipamentos novos credenciados no BNDES;
- aquisição de software nacional: desenvolvimento ou aquisição de softwares desenvolvidos no país e serviços correlatos, obedecidos os critérios estabelecidos no programa BNDES Prosoft – Comercialização;
- serviços técnicos especializados: consultorias e certificações;
- demais serviços técnicos especializados; e
- treinamento: capacitação técnica e gerencial.

YaJVXkoPRqLQvN-DIRI6vvH5a_stRcat9fu4OuTdvAeTNR7j8F_UtZV-
1iKsIMA299dHHxCxvXwPk!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/>. Acesso em: 19 abr. 2017.

⁹⁴ Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

Destaca-se que, a partir de 5 de maio de 2017, o valor mínimo de financiamento dessa linha será de R\$ 10 milhões.

4.2.4.3 BNDES FINAME

O BNDES Finame tem por objetivo fomentar o financiamento da produção e aquisição de máquinas e equipamentos nacionais credenciados no BNDES. De modo específico, tal financiamento, que ocorre por intermédio de instituições financeiras credenciadas, volta-se à produção e à aquisição de máquinas, equipamentos e bens de informática e automação que sejam novos, de fabricação nacional e credenciados pelo BNDES. Ele se divide em linhas de financiamento, com objetivos e condições financeiras específicas. As linhas do BNDES Finame são:

- BK Aquisição e Comercialização: financiamento para aquisição e comercialização de máquinas, equipamentos, sistemas industriais, bens de informática e automação, ônibus, caminhões e aeronaves executivas.
- BK Produção: financiamento de capital de giro destinado à produção de máquinas, equipamentos e bens de informática e automação.
- Moderniza BK: financiamento à modernização de máquinas e equipamentos instalados no país, com fornecimento contratado com os proprietários dos bens.

De acordo com as informações disponíveis no website do BNDES⁹⁵, o apoio financeiro poderá ser concedido nas seguintes modalidades:

- Financiamento à compradora para a aquisição, cuja modalidade está destinada a:
- beneficiárias usuárias para aquisição de máquinas e equipamentos;
- empresas para aquisição de máquinas e equipamentos, que, pela sua natureza e a critério do BNDES, possam ser destinados ao uso de terceiros, mediante contrato de comodato; e

⁹⁵ Disponível em: <[!\[\]\(ec443d3b53c4fe4ac1fa900152531f31_img.jpg\) : vivideconomics](http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/finame/como-obter-financiamento-finame/bndes-finame-principal!/ut/p/z1/vVNNc5swEL37V6QHH2UJg_nojdg4FGPHtRvHcMkAFkadIBFQTNNf3zXBM00nxtPjtBy00s7T2_dWLA57V1e9Ht5CgE27nCIOeXRg-0gywaNHvMVBqD_41sxxTVi336ZWMSebL4up0vXNqYGvm8A5MxnExx239_gElcJl4XMcBDzHa0eGK8kk89Jo6BPMpHTPkZj3jCpoxKarX8zGfiFwgEUtaojcQdAI0nO0JFSUDRAHGGoGqRsB0ONF2PIFjRUWKYKtl0WExVj1FEEd7GhJbt0NDJblx02wu4meG_bcKMvruG-Zbmz8VAhEx0Kha3EM_2xa2nEJ9PViNjLbyvV0TyVrlct4DcNqkNsd-yPNGem3FhqC-h6iksqaRbPnLW5AZkHRmt8x0WZQw_Xf9lFl1yqYHwQif9gij_lI79IL13aVhgGoffDzfA20kM8R4KvD2zB8OYPb96Sm0Yb4EI_SHbKH_Z8DAzP5RxK9CbB6rJqguaUpLWg6eS0hnUhaf-6RP6roeNCyDvTgM4hlyBSgoRCmP-iom6bsqTyLf5CJCvz-yYyL_C431Re0Xjnp3FG1wDv8vF6gY_DpPQrjl_rTL8eokPU!/dz/d5/L2dBISevZ0FBIS9nQSEh/>. Acesso em: 22 abr. 2017.</p>
</div>
<div data-bbox=)

- empresas cujo objeto social incluía a locação de máquinas e equipamentos, desde que não caracterizadas como empresas de arrendamento mercantil e que o bem financiado não seja destinado à sublocação.
- Financiamento ao fabricante para a produção: apoio financeiro durante o período de fabricação, para produção de máquinas e equipamentos já negociados com as respectivas compradoras; e
- Financiamento ao fabricante para a comercialização: apoio ao fabricante para venda de máquinas e equipamentos já negociados com as respectivas compradoras.

Destaca-se que, a partir de 5 de maio de 2017, o valor mínimo de financiamento dessa linha será de R\$ 10 milhões.

4.3 POLÍTICA TRIBUTÁRIA

No contexto da política tributária, deve-se considerar a necessidade de o setor público gerar recursos para se financiar, pois nenhuma instituição existe sem recursos, nem mesmo o Estado (Cavalcanti, 2011). Nesse sentido, a principal fonte de receita do governo é a arrecadação mediante tributos⁹⁶.

Assim, os tributos permitem garantir patamares mínimos de investimento público que permitam a implementação de políticas sociais redistributivas de longo prazo e compensatórias de curto e médio prazo, como forma de melhorar não só as condições de vida dos diversos segmentos populares, como também diminuir as enormes discrepâncias entre os índices sociais em determinados países (MUSGRAVE & MUSGRAVE, 1980).

A suficiência dos tributos, sob a ótica da geração dos recursos necessários para o atendimento das responsabilidades do Estado, é afetada pelas limitações macroeconômicas associadas à sustentação do equilíbrio fiscal, exigindo esforços crescentes para aumentar a eficiência da administração pública de modo a manter a carga tributária total nos limites da capacidade de pagamento dos agentes. Mais recentemente esta dinâmica se tornou ainda mais complexa a partir das discussões sobre a criação de um imposto sobre o carbono na economia brasileira no contexto da política climática nacional.

4.3.1 CARACTERÍSTICAS DOS TRIBUTOS

A natureza do tributo se determina pelo fato que o gera. Dá-se a esse fato a denominação de “fato gerador”, que constitui uma das fontes da obrigação tributária (BRASIL, 1966). A obrigação de pagar o

⁹⁶ Além dos tributos, os governos podem cobrar por serviços específicos (taxas administrativas), vender bens e serviços (estatais) ou obter recursos via títulos públicos ou empréstimos.

tributo decorre de lei específica, segundo o princípio de que não pode haver tributação sem lei prévia que a autorize.

O tributo pode ser classificado como progressivo, regressivo ou neutro (caso a relação, respectivamente, aumente, diminua ou mantenha-se constante com o crescimento da renda), segundo a variação da relação entre a carga tributária e a renda do contribuinte (CAVALCANTI, 2006). Quanto à forma de incidência, o tributo pode ser:

- i) específico, se o montante for fixo para cada unidade transacionada;
- ii) *ad valorem*, quando estabelecido como uma certa porcentagem do valor adicionado em uma determinada transação;
- iii) unitário, se incidir apenas uma vez numa mesma cadeia comercial; e
- iv) múltiplo, caso incida em vários estágios de comercialização de um determinado bem.

O tributo é uma forma de arrecadação que auxilia, em grande medida, a organização do Estado. Há, somado a esse fim arrecadatório, em alguns países (como o Brasil), o cunho social – a redistribuição de renda. Todavia esta não é a única maneira de o Estado intervir diretamente na cadeia produtiva (CAVALCANTI, 2006). Assim, segundo a finalidade, os tributos podem ser fiscais (com fins arrecadatórios) e extrafiscais (visando induzir comportamentos de agentes econômicos, por exemplo, um tributo sobre o carbono com o objetivo de reduzir as emissões de GEE).

Os tributos são instituídos com a finalidade de serem arrecadados. Entretanto, pode-se abrir mão de parte da arrecadação deles para atingir outros fins de interesse do Estado, a fim de incentivar determinadas atividades (por exemplo, desenvolvimento tecnológico industrial) ou desenvolvimento de determinadas regiões. Essa renúncia fiscal tem o nome técnico de “extrafiscalidade”, que significa o uso do tributo para fins outros que não o da arrecadação (AMARAL & OLENIKE, 2003).

A renúncia fiscal constitui um benefício fiscal para o contribuinte, desde que este observe com rigor os requisitos que a lei exige para o direito de utilizá-lo. Segundo o artigo 14 da Lei Complementar nº 101/00 – Lei de Responsabilidade Fiscal (BRASIL, 2000):

“a renúncia compreende anistia, remissão, subsídio, crédito presumido, concessão de isenção em caráter não geral, alteração de alíquota ou modificação de base de cálculo que implique redução discriminada de tributos ou contribuições, e outros benefícios que correspondam a tratamento diferenciado”.

Dessa maneira, as renúncias se manifestam com um conteúdo extrafiscal, sendo normalmente avaliadas pela capacidade de gerar desenvolvimento econômico ou pela capacidade contributiva. A

necessidade de desenvolvimento econômico dos estados deve se fundir ao crescimento econômico do país (e não gerar concorrências interestaduais ou “guerras fiscais”⁹⁷ (CAVALCANTI, 2011).

A renúncia fiscal, portanto, é uma forma indireta de o poder executivo financiar a produção ou a pesquisa de determinados setores da economia. A concessão de incentivos fiscais, por conseguinte, influi na formação de preços no mercado, matéria intrinsecamente ligada à defesa da concorrência. Segundo Cavalcanti (2006), é evidente que, para financiar a perda de arrecadação (representada pela renúncia fiscal), o Estado tem que cobrar mais de quem não goza desses benefícios fiscais ou deve contar que o aumento de atividade econômica estimulada pela renúncia fiscal leva per se a uma maior arrecadação.

Como resultado, os governos podem, mediante políticas de desenvolvimento, criar incentivos a determinados setores da economia, favorecendo a descarbonização de setores estratégicos, tais como a indústria. Entretanto, ressalta-se que quaisquer privilégios fiscais desprovidos dos princípios da isonomia, da capacidade contributiva e do desenvolvimento econômico violará o direito fundamental à igualdade de tratamento, podendo ser considerado uma discriminação.

Nesse sentido, é importante destacar a necessidade de minimizar os efeitos negativos da tributação sobre a eficiência e a competitividade do setor produtivo, assegurando a integração comercial. Desta forma, evita-se a ocorrência de danos à economia do país, além de combater a sonegação fiscal (CAVALCANTI, 2006; 2011).

4.3.2 TRIBUTOS

Faz-se importante definir alguns termos muito utilizados no cotidiano, mas que, por muitas vezes, são empregados de maneira equivocada. Segundo o artigo 3º do Código Tributário Nacional (BRASIL, 1966), tributo é:

“(...) toda prestação pecuniária compulsória, em moeda ou cujo valor nela se possa exprimir, que não constitua sanção de ato ilícito, instituída em lei e cobrada mediante atividade administrativa plenamente vinculada.”

Consiste, portanto, em todo pagamento obrigatório que não represente uma punição por ato ilícito, devendo ser previsto em lei, e tem como espécies os impostos, as taxas e as contribuições de melhoria,

⁹⁷ A “guerra fiscal” é um estado peculiar de acirramento do caráter competitivo de políticas regionais de desenvolvimento, praticadas isoladamente pelas unidades da federação, voltadas à atração de investimentos privados. Os governos subnacionais disputam entre si, mediante a concessão de isenções e benefícios em geral, a atração de empresas geradoras de empregos e rendas a serem tributadas pela Fazenda Pública do Estado. Como consequência da necessidade de atração de investimentos e estímulo à economia local, os agentes estaduais acabam competindo (através de redução de impostos), mesmo que isso acarrete resultado divergente do pretendido – retração da economia em âmbito nacional.

que, embora possuam o caráter de prestações coercitivas, apresentam traços peculiares que os diferenciam (CAVALCANTI, 2011).

Antes de qualificá-los e diferenciá-los, faz-se importante um último esclarecimento. Segundo Giambiagi & Além (2000), as cargas tributária e fiscal são grandezas distintas, sendo a primeira referente apenas à receita tributária propriamente dita, composta por impostos, taxas e contribuições de melhoria, excluídas as contribuições sociais, enquanto a segunda considera tanto a receita tributária como as demais contribuições e eventuais outras receitas com caráter impositivo.

4.3.2.1 IMPOSTOS

O imposto é o tributo cuja obrigação tem por fato gerador uma situação independente de qualquer atividade estatal específica, caracterizado por não ter sua arrecadação com destino específico, sendo destinado a atender às necessidades gerais da administração pública, sem assegurar ao contribuinte qualquer proveito direto em contraprestação à parcela que pagou (BRASIL, 1966). No Brasil há impostos federais, estaduais e municipais. Seguem alguns exemplos:

- Impostos federais: Impostos sobre Importação (II), Imposto sobre Operações Financeiras (IOF), Imposto de Renda Pessoa Física (IRPF);
- Impostos estaduais: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA); e
- Impostos municipais: Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) e Imposto Sobre Serviços (ISS).

4.3.2.2 TAXAS

A taxa, ao contrário, destina-se a remunerar serviços específicos, efetivamente prestados ou colocados ao alcance do contribuinte, tendo como fato gerador o exercício regular do poder de polícia, ou a utilização, efetiva ou potencial, de serviço público específico e divisível, prestado ao contribuinte ou posto à sua disposição (BRASIL, 1966). Logo, corresponde sempre a uma contraprestação direta pelo serviço recebido ou posto à disposição, mesmo que o contribuinte dele não se utilize, como é o caso dos serviços municipais de água e esgoto, que, quando existentes e colocados em funcionamento, acarretam sempre a exigência da taxa correspondente (AMARAL & OLENIKE, 2003).

Ressalta-se que a União, os estados, os municípios e o distrito federal têm competência para a criação de taxas e contribuições de melhoria. Quanto aos impostos, entretanto, a Constituição Federal adota um sistema de rígida discriminação. A União, os estados, o distrito federal e os municípios somente podem arrecadar os impostos que lhes foram atribuídos (CAVALCANTI, 2006). Tal princípio constitucional apenas sofre exceção relativamente à União, que poderá instituir outros impostos, desde

que não tenham base de cálculo e fatos geradores idênticos aos que já foram previstos para os impostos devidos às demais entidades públicas.

Faz-se importante ressaltar um aspecto linguístico do termo. Na língua portuguesa e na própria legislação brasileira, o que em inglês se denomina “*carbon tax*” deveria ser traduzido como “imposto sobre carbono” e não “taxa de carbono”, conforme comumente realizado. Neste caso particular, entretanto, caberia indicar legalmente que o imposto sobre o carbono seria específico e arrecadado pela União, não tendo um serviço de contrapartida, nem tampouco uma destinação específica.

4.3.2.3 CONTRIBUIÇÕES DE MELHORIA

Contribuição de melhoria é espécie de tributo na classificação da receita orçamentária e tem como fato gerador valorização imobiliária que decorra de obras públicas, contanto que haja nexo causal entre a melhoria havida e a realização da obra pública. De acordo com o art. 81 do CTN: Art. 81. A contribuição de melhoria cobrada pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal ou pelos Municípios, no âmbito de suas respectivas atribuições, é instituída para fazer face ao custo de obras públicas de que decorra valorização imobiliária, tendo como limite total a despesa realizada e como limite individual o acréscimo de valor que da obra resultar para cada imóvel beneficiado.

4.3.3 CONTRIBUIÇÕES

As contribuições parafiscais diferem das taxas, pois seus fatos geradores não são atividades do Estado. Também não podem ser caracterizados como impostos, pois têm uma destinação específica (GIAMBIAGI & ALÉM, 2000).

O art. 149 da CF/88 estabelece competir exclusivamente à União instituir contribuições sociais, de intervenção no domínio econômico e de interesse das categorias profissionais ou econômicas, como instrumento de atuação nas respectivas áreas, e o §1º do artigo em comento estabelece que Estados, Distrito Federal e Municípios poderão instituir contribuição, cobrada de seus servidores, para o custeio, em benefício destes, de regimes de previdência de caráter contributivo e solidário.

As contribuições classificam-se nas seguintes espécies:

Contribuições Sociais:

- (i) Classificada como espécie de Contribuição, por força da Lei nº 4.320/64, a Contribuição Social é tributo vinculado a uma atividade Estatal que visa atender aos direitos sociais previstos na CF/88. Pode-se afirmar que as contribuições sociais atendem a duas finalidades básicas: seguridade social (saúde, previdência e assistência social) e outros direitos sociais como, por exemplo: o salário educação. A competência para instituição das contribuições sociais é da

União, exceto das contribuições dos servidores estatutários dos Estados, DF e Municípios, que são instituídas pelos mesmos.

- (ii) Contribuições de Intervenção no Domínio Econômico:
- (iii) A Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico – CIDE é tributo classificado no orçamento público como uma espécie de contribuição que atinge um determinado setor da economia, com finalidade qualificada em sede constitucional – intervenção no domínio econômico – instituída mediante um motivo específico. Essa intervenção se dá pela fiscalização e atividades de fomento, como por exemplo, desenvolvimento de pesquisas para crescimento do setor e oferecimento de linhas de crédito para expansão da produção. Exemplo de contribuição de intervenção no domínio econômico é o Adicional sobre Tarifas de Passagens Aéreas Domésticas, que são voltadas à suplementação tarifária de linhas aéreas regionais de passageiros, de baixo e médio potencial de tráfego.
- (iv) Contribuição de Interesse das Categorias Profissionais ou Econômicas: Contribuição de Interesse das Categorias Profissionais ou Econômicas é espécie de contribuição que se caracteriza por atender a determinadas categorias profissionais ou econômicas, vinculando sua arrecadação às entidades que as instituíram. Não transitam pelo orçamento da União. Estas contribuições são destinadas ao custeio das organizações de interesse de grupos profissionais, como, por exemplo: OAB, CREA, CRM e assim por diante. Visam também ao custeio dos serviços sociais autônomos prestados no interesse das categorias, como SESI, SESC e SENAI.
- (v) Contribuição de Iluminação Pública (CIP)
- (vi) A Contribuição de Iluminação Pública (CIP), instituída pela Emenda Constitucional nº 39/2002, que acrescentou o art. 149-A à CF/88, possui a finalidade de custear o serviço de iluminação pública. A competência para instituição é dos Municípios e do Distrito Federal. Municípios e DF, a partir dessa autorização constitucional, iniciaram a regulamentação por Lei Complementar, visando a dar eficácia plena ao citado artigo 149-A da CF/88.
- (vii) Nesse sentido, caso uma possível “*carbon tax*” tenha uma destinação específica a um fundo de carbono, por exemplo, deveria ser tratada como uma “CIDE-carbono” e não como um “imposto sobre o carbono”. Assim, “*carbon tax*” poderia ser configurado como um “imposto sobre o carbono” ou como uma “contribuição de carbono” – a depender da existência (ou não) da alocação em um fundo pré-determinado – mas nunca como uma “taxa de carbono”.

4.3.4 MEDIDAS TRIBUTÁRIAS PARA MITIGAÇÃO DA MUDANÇA DO CLIMA

Inúmeros são os países, estados e municípios que já adotaram algum tipo de imposto sobre emissões de GEE ou sistemas de comércio de emissões de carbono. No que se refere à tributação do carbono, os países nórdicos foram pioneiros no uso de tributos para estimular a produção com menor emissão

de CO₂, tendo desenvolvido leis, já na década de 1990, países como Noruega, Suécia, Dinamarca e Finlândia.

A Austrália chegou a testar um imposto sobre emissões, que posteriormente foi revogado em razão de forte pressão de grupos empresariais ligados à mineração. Na América do Sul, por exemplo, o Chile promulgou uma nova legislação que torna o país o primeiro no continente a taxar as emissões de CO₂. Outras experiências podem ser verificadas, por exemplo, na África do Sul.

De maneira geral, observa-se uma tendência de se discutir a implementação de um imposto sobre o carbono, como forma de incentivar a redução da emissão de GEE pelos países. Inclusive, durante a Cúpula do Clima de ONU, ocorrida em 2014, em Nova Iorque, o Fundo Monetário Internacional (FMI) posicionou-se favorável à taxação das emissões. Na ocasião, Segundo Gerry Rice, porta-voz da instituição, ressaltou que a criação de um imposto sobre o carbono seria útil para frear a mudança do clima sem produzir efeitos negativos no crescimento econômico.

No Brasil, qualquer tentativa de defesa de um imposto sobre emissões esbarra na impopularidade da ideia de aumentar a carga tributária que já incide sobre os cidadãos e sobre as empresas. Porém, ressalta-se que o país já possui um arcabouço jurídico desenvolvido no que tange ao uso de instrumentos econômicos como mecanismos de proteção ambiental, além de possuir experiências de destinação de parte dos tributos arrecadados para fins sociais e ambientais – caso do ICMS ecológico, por exemplo.

Dessa forma, será analisado este arcabouço jurídico, além de alguns impostos já existentes no país que possuem algum “apelo” ambiental. Além disso, serão analisados os instrumentos para alcance das políticas, bem como as oportunidades existentes dentro dos principais impostos.

4.3.4.1 ICMS ECOLÓGICO

O ICMS Ecológico é um mecanismo tributário que possibilita aos municípios acesso a parcelas maiores do que aquelas a que já têm direito, dos recursos financeiros arrecadados pelos estados por meio do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), em razão do atendimento de determinados critérios ambientais estabelecidos em leis estaduais. Não é um novo imposto, mas sim a introdução de novos critérios de redistribuição de recursos do ICMS, que reflete o nível da atividade econômica nos municípios em conjunto com a preservação do meio ambiente (MCTI, 2016).

Nos termos do art. 158, IV, da Constituição Federal, 25% do produto da arrecadação do ICMS pertence aos municípios (BRASIL, 1988). Esse percentual é distribuído entre os municípios seguindo-se os parâmetros estabelecidos pelo parágrafo único do mesmo artigo, segundo o qual três quartos do valor serão distribuídos de acordo com o valor adicionado nas operações de ICMS ocorridas dentro do território municipal, e um quarto será distribuído conforme dispuser lei estadual.

A maior parte dos repasses financeiros feitos pelos estados aos municípios, logo, obedece à lógica de que deve receber mais o município que mais produz e que, portanto, adiciona mais valor à arrecadação

de ICMS. Por outro lado, ressalta-se que um quarto do valor repassado pelos estados pode ser utilizado para induzir o desenvolvimento de áreas menos produtivas, pois a Constituição outorga aos Estados liberdade para definir como distribuir esse valor (SCAFF & TUPIASSU, 2005).

Nos estados que implementaram o chamado ICMS Ecológico, parcela das receitas financeiras obtidas pela arrecadação de ICMS e que podem ser livremente distribuídas pelos estados é repassada aos municípios de acordo com algum critério de proteção ambiental. Geralmente, o critério utilizado relaciona-se à proporção de áreas de preservação permanente (APP) e reservas florestais em relação à área total do município.

Assim, os municípios que preservam suas florestas e conservam sua biodiversidade, por exemplo, ganham uma pontuação maior nos critérios de repasse e recebem recursos financeiros a título de compensação pelas áreas destinadas à conservação e, ao mesmo tempo, um incentivo para a manutenção e criação de novas áreas para a conservação da biodiversidade. Segundo MCTI (2016), o Paraná foi o primeiro estado do Brasil a estabelecer o ICMS Ecológico e, atualmente, 16 dos 27 estados adotam o mecanismo⁹⁸, conforme o portal, criado em 2009 com o objetivo de disseminar informações acerca deste dispositivo.

Embora os instrumentos de política para precificação sejam tratados em etapas futuras do estudo, a experiência do ICMS Ecológico pode ser vista como um parâmetro no que se refere ao estabelecimento de um imposto sobre o carbono. Tal imposto poderia ser substitutivo ou apresentar uma característica similar ao do ICMS Ecológico, ou seja, poderia haver um “imposto neutro” aplicado sobre aqueles que atendessem a uma determinada emissão considerada *benchmark*, sendo o imposto, portanto, cobrado sobre o delta de emissão. Assim, haveria o “imposto negativo” (crédito) para quem fosse além do *benchmark* pré-estabelecido e o “imposto positivo” (despesa) para quem não atendesse o *benchmark*. A relevância e aplicação desta e outras alternativas serão detalhadas e discutidas nos estudos futuros.

4.3.4.2 PIS/PASEP

O Programa de Integração Social (PIS) e o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP) são programas complementares de renda estabelecidos pela Lei Complementar Nº 7, de 7 de setembro de 1970, e Nº 8, de 3 de dezembro de 1970, respectivamente. São impostos de caráter social pagos por empresas, no caso do PIS, e pela União, pelos Estados, pelos Municípios, pelos Distrito Federal e pelos territórios, no caso do PASEP. Eles têm por objetivo financiar o seguro desemprego, além de funcionarem como uma segurança do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS). Além disso, o PIS/PASEP funciona também como uma espécie de 14º salário, visto que dá origem ao Abono Salarial pago a algumas classes trabalhadoras do setor privado e público como forma

⁹⁸ Mais detalhes em: <<http://www.icmsecologico.org.br>>.

de auxiliar no fechamento das contas e na redução da desigualdade social, ao internalizar vários custos sociais.

Segundo Simão (2001), a inclusão deste imposto aumentou o efeito cascata da tributação sobre os combustíveis, visto que, este tributo incidia, por exemplo, sobre o faturamento do refino e da distribuição. Atualmente, este efeito ocorre apenas com o álcool hidratado, que é tributado através do PIS e do COFINS (será desenvolvido a seguir), em todos os fatores geradores, ao longo da cadeia de produção e comercialização, sem dedução do montante já pago nas transações anteriores (CAVALCANTE, 2011).

Pode-se avaliar que, o fato de os impostos de caráter social incidirem em efeito cascata sobre o álcool hidratado, por exemplo, e não sobre a gasolina, implica um desincentivo ao uso do combustível renovável, o que não é interessante ao se considerar a promoção de políticas de baixo carbono. Neste caso, é fácil perceber que um imposto sobre o carbono poderia tornar mais equiparável o preço do álcool e da gasolina, por exemplo, acarretando em um incentivo à utilização do primeiro.

4.3.4.3 COFINS

A Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) é uma contribuição social aplicada sobre o valor bruto declarado por uma determinada empresa. Este tributo tem por objetivo, como o próprio nome sugere, financiar a seguridade social, através de investimentos na Previdência Social, Assistência Social e Saúde Pública.

Tal contribuição, apesar de apresentar características de efeito cascata, vem sendo utilizada como forma de incentivar a aquisição, por parte das empresas, de resíduos sólidos para serem utilizados como matéria-prima ou material intermediário do processo produtivo, reduzindo, assim, o impacto sobre o meio ambiente. Tais empresas, ao realizarem a compra destes materiais direto de Cooperativa de Catadores de materiais recicláveis, obtêm ressarcimento nas contribuições para o PIS/PASEP e COFINS (GVCES, 2013b).

Em 2013, foi instituída a Lei 12.859 do governo federal, que desonera o PIS/COFINS de matérias-primas de origem na nafta e no gás natural para as centrais petroquímicas e as indústrias químicas. Essa desoneração incide sobre as importações e na venda do mercado interno. Estima-se que o impacto dessa desoneração seja de R\$ 1.147 bilhões (2013), R\$ 2.182 bilhões (2014) e de R\$ 2.421 bilhões (2015) (CNQ, 2015b). Essa Lei faz parte do Regime Especial da Indústria Química (Reiq), presente desde 2004, e que foi sendo melhorada ao longo dos anos. Engloba produtos como nafta petroquímica, etano, propano, butano, condensado de gás, ortoxileno, benzeno e tolueno. A Medida Provisória 694/15, porém, reduz em 2016 os benefícios fiscais obtidos do Reiq (CAMARA, 2016).

Já no setor de fertilizantes, em 2012, foi instituído por medida provisória o Regime Especial da Indústria de Fertilizantes (REIF), sendo consolidado na Lei 12.794/2013. De acordo com o REIF, as indústrias de fertilizantes que estiverem investindo novas plantas podem ter isenção do PIS/CONFIS, assim como

isenção de IPI durante a execução da obra (CNQ, 2015b). Busca, assim, fomentar a indústria nacional de fertilizantes, com vistas à redução da dependência de importações e à redução de custos dos agentes internos (SOUTO, 2013).

4.3.4.4 IPI

O Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), regulamentado pelo Decreto 7.212, de 15 de junho de 2010, é um tributo que incide sobre todos os produtos industrializados, nacionais ou importados. Neste caso, considera-se produto industrializado todo o produto resultante de uma operação de transformação, beneficiamento, montagem, acondicionamento ou renovação. Destaca-se o fato de que, energia elétrica, derivados de petróleo combustíveis e minerais estão isentos da incidência do IPI.

Este imposto é historicamente relevante quanto ao impacto na venda de veículos e, conseqüentemente, nas emissões de CO₂ do setor de transporte. Segundo Simão (2001), a segunda fase do programa Proálcool, iniciada em 1979, teve sucesso evidente na substituição da gasolina pelo álcool, em especial por conta do crescimento da produção de carro a álcool entre 1983 e 1986, o qual só foi possível devido à redução do IPI deste tipo de produto. No início de 2009, logo após eclodir a crise financeira, foi implementada a redução do IPI sobre veículos automotores, vigorando até março de 2010, sendo esta redução responsável por 20,7% das vendas de veículos entre janeiro e novembro de 2009 (IPEA, 2010a).

Nota-se, logo, que a redução deste imposto impacta fortemente a venda de veículos, podendo ser um importante instrumento de políticas de baixo carbono, ao passo que, caso ocorra a redução do IPI de carros *flex fuel*, híbridos ou elétricos, as vendas destes automóveis crescerão em relação a de veículos dedicados à gasolina. Como resultado, haverá um menor gasto energético e/ou uma substituição por combustíveis renováveis, levando, portanto, a uma conseqüente redução de emissões de GEE.

4.3.4.5 IPVA

O Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) é um imposto estadual cobrado anualmente a qualquer proprietário de veículos automotores. Metade do imposto arrecadado fica no município em que o carro foi emplacado e a outra metade no Estado responsável pela arrecadação. As alíquotas são diferenciadas em razão do tipo do veículo e da natureza do combustível.

Destaca-se que reduções de IPVA são mecanismos importantes no incentivo ao uso do gás natural veicular (GNV), por exemplo, em estados como Rio de Janeiro e São Paulo, chegando a 25% de desconto no último e 75% no primeiro. Em São Paulo, devido a sua grande característica de produtor de cana-de-açúcar, também há um desconto de 25% no IPI de automóveis que utilizem álcool hidratado, como forma de incentivo indireto ao uso deste combustível (CAVALCANTI, 2006).

Apesar de já haver políticas de substituição de combustíveis a partir da utilização do mecanismo de redução do IPVA, observa-se que isto ocorre em poucos estados. Dessa forma, a ampliação destas políticas, poderia ter um impacto positivo na redução das emissões de CO₂.

4.3.4.6 CIDE

A Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE) foi instituída pela Lei 10.336, de 19 de dezembro de 2001, como forma de garantir recursos para investir em infraestrutura de transporte, em projetos ambientais relacionados à indústria de petróleo e gás e em subsídios a preços ou a transporte de álcool combustível, de gás natural e derivados e petróleo e derivados. Esta contribuição incide sobre a importação e comercialização da gasolina e suas correntes, do diesel e suas correntes, querosene de aviação e outros querosenes, óleos combustíveis, gás liquefeito de petróleo (GLP) e álcool etílico. Seus contribuintes são os produtores, formuladores e importadores destes combustíveis (CAVALCANTI, 2006).

Neste caso, a própria CIDE já é um instrumento de política ambiental, visto que seus recursos podem ser direcionados à promoção de projetos ambientais. Porém, a redução da contribuição para empresas que tornem seu processo de produção menos intensivo em emissões teria maior valia – em termos de políticas de baixo carbono – do que o subsídio a preços de combustíveis, em especial, dos derivados de petróleo.

O estudo desenvolvido por IPAM (2014) apresentou a ideia da CIDE-Carbono, uma nova versão da CIDE tradicional, que incidiria, em um primeiro momento, sobre os combustíveis fósseis e a pecuária de baixa produtividade, dois dos grandes responsáveis pelas emissões de GEE no Brasil. Pela proposta da CIDE-Carbono, os combustíveis fósseis seriam taxados em R\$ 3 por tonelada de CO₂, o que representaria um aumento no preço da gasolina de 0,26% e 0,37% no diesel, além de uma receita anual da ordem de R\$ 1,3 bilhão, a ser investida na recuperação de matas ciliares. Em um segundo momento, a CIDE-Carbono seria cobrada de setores que descumprissem suas metas de redução de emissões, que já existem dentro do arcabouço da PNMC.

Segundo o estudo, a CIDE atual, que tem alíquota zero para a gasolina, vem sendo usada para subsidiar combustíveis fósseis e ajudar no controle da inflação (IPAM, 2014). Como resultado, a proposta da CIDE-Carbono está sob análise de um grupo de trabalho designado pela Comissão de Assuntos Econômicos do Senado. Por incidir sobre combustíveis, pode-se onerar mais o diesel e a gasolina, por exemplo, privilegiando o etanol, logo, caso se objetive utilizar o critério de intensidade de carbono, a CIDE já está pronta para ser utilizada como instrumento de política climática.

4.3.4.7 IPTU

O Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) é um imposto de competência dos municípios que incide sobre a propriedade, domínio útil ou posse de um determinado imóvel. Destaca-se que, nos últimos

dez anos, muitos municípios brasileiros passaram a conceder descontos no IPTU para imóveis com áreas verdes ou que utilizam tecnologias ambientalmente corretas, como aquecimento solar, sistemas de captação e tratamento de água da chuva, instalação de telhados verdes, entre outras medidas.

Há casos de cidades, como Araraquara, no interior de São Paulo, que concedem até 40% de desconto no imposto para imóveis que conservem áreas arborizadas⁹⁹. Ou seja, a cobrança diferenciada por localidade e uso do imóvel, institucionalizada pelo artigo 156, § 1º, II da Constituição federal, pode dar origem a uma política ambiental a partir de alíquotas reduzidas para propriedades com funções socioambientais que promovam a proteção do meio ambiente (IPAM, 2014).

4.3.4.8 IMPOSTO DE IMPORTAÇÃO (II)

4.3.4.8.1 QUÍMICA

Relativamente ao imposto de importação (II), a indústria química apresenta uma balança comercial altamente desfavorável, tendo fechado em 2016 com um déficit de US\$ 25,5 bilhões (ABIQUIM, 2016). Para desonerar as exportações foi instituído o Regime Especial de Reintegração de Valores Tributários para as Empresas Exportadoras (REINTEGRA), regulamentado através do Decreto 7.633/2012. Este tem por objetivo reintegrar valores referentes a custos tributários residuais existentes nas suas cadeias de produção. De forma geral, o REINTEGRA ressarce aos exportadores um percentual da receita com as vendas externas, melhorando a competitividade. Diversas categorias de produtos químicos são contempladas, como químicos orgânicos, produtos farmacêuticos, plásticos, borrachas, entre outros (BRASIL, 2013).

Em 2015, o governo lançou um pacote de medidas fiscais que alteram as alíquotas aplicadas do REINTEGRA, atingindo, assim, a indústria química (SINQUIFAR, 2015). Além disso, políticas de *antidumping* têm sido aplicadas através de Resoluções diversas da CAMEX, a fim de assegurar a competitividade da indústria química nacional. Alguns exemplos que podem ser mencionados são a Resolução Nº 127 de 2016, que aplica um direito *antidumping* para o n-butanol (NCM 2905.13.00) diante da África do Sul e Rússia (CAMEX, 2016).

A Resolução Nº 104, de 2016, trata do comércio de resinas de polipropileno provenientes dos Estados Unidos, já a Resolução nº 89 diz respeito ao policloreto de vinila. Ainda, a Resolução Nº 82, de 2014, prorroga o direito *antidumping* por mais cinco anos (CAMEX, 2016). Outros exemplos poderiam ser exemplificados, mostrando que alguns produtos comercializados podem sofrer proteção contra a importação. Porém, ainda que existam essas medidas individuais sobre o comércio, o déficit comercial tem mostrado crescimento desde 2009 (ABIQUIM, 2016).

⁹⁹ Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/pagina22/article/viewFile/38949/37691>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

4.3.4.8.2 VIDRO

Em julho de 2014, o governo brasileiro aprovou a aplicação do direito *antidumping* provisório para vidros *float* incolor (7005.29.00), por meio da Resolução N° 55, de 11 de julho, e confirmou a decisão em caráter definitivo, válido por 5 anos, em dezembro, através da Resolução N° 121, de 18 de dezembro. O direito se aplica às importações brasileiras originárias da Arábia Saudita, da China, do Egito, dos Emirados Árabes Unidos, dos Estados Unidos da América e do México, e será recolhido sob a forma de alíquota específica fixada em dólares estadunidenses por tonelada, nos montantes especificados pelo documento (CAMEX, 2014a).

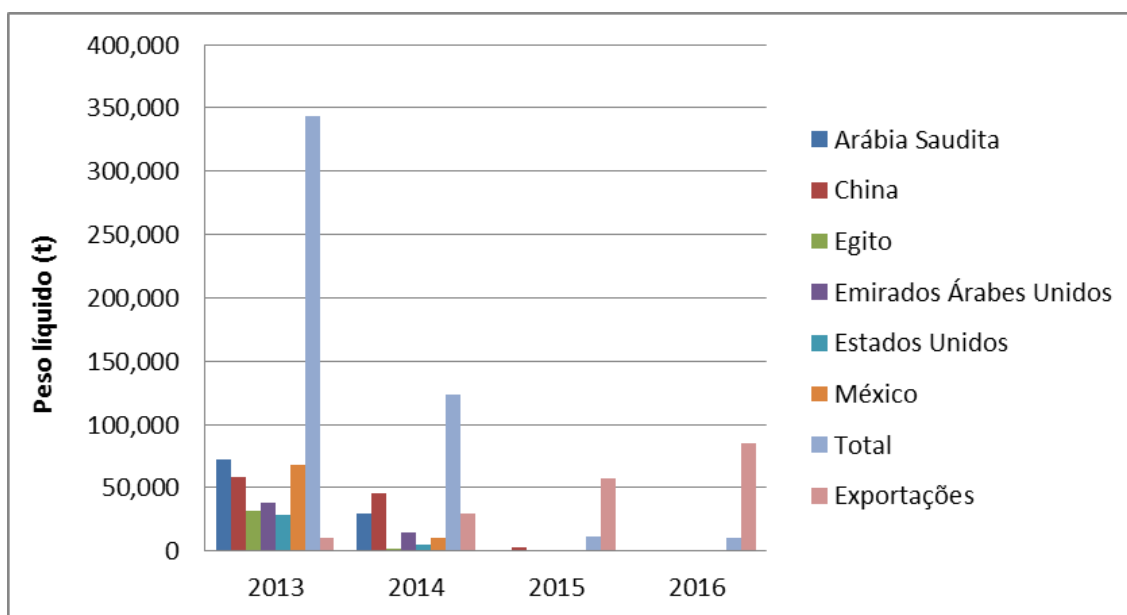


Figura 162: Evolução do comércio internacional de vidro plano incolor (2013-2016)

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados de MDIC (2017).

Ao compararmos a quantidade de vidros sob o NCM 7005.29.00, referente à Resolução, é possível observar um decréscimo das importações entre 2013, anterior ao direito *antidumping*, e 2016, não só para os países relacionados na Resolução como no total importado. As exportações apresentaram crescimento no mesmo período.

Dentro da mesma linha, ainda duas outras resoluções garantem direito *antidumping* para a indústria de vidro brasileira: a Resolução N° 46, de 03 de julho de 2014, aplica o direito *antidumping* às importações provenientes da China para vidros de uso em eletrodomésticos da linha fria (7007.19.00), por prazo de até 5 anos (CAMEX, 2014b).

Em 2017, a Resolução N° 05, de 16 de fevereiro, aplica este direito aos vidros automotivos temperados e laminados (NCM 7007.11.00, 7007.19.00, 7007.21.00, 7007.29.00 e 8708.29.99) também originários da República Popular da China (CAMEX, 2017).

4.3.4.9 MEDIDAS TRIBUTÁRIAS QUE INCENTIVARAM A CONSTRUÇÃO CIVIL E O SETOR DE CIMENTO

A Medida Provisória nº 601, de 28 de dezembro de 2012, entre outras normas, altera a Lei nº 12.546/11, desonerando a folha de pagamentos dos setores da construção civil e varejista, com a troca da contribuição previdenciária patronal por uma alíquota de 1% a 2% sobre o faturamento, variando conforme o setor (DIEESE, 2013).

O governo anunciou mais 14 setores beneficiados com a ampliação da desoneração para todo o setor da construção - inclusive para o segmento da construção pesada ou de obras de infraestrutura. Os setores de transporte metroferroviário de passageiros e ferroviário, foram beneficiados, em janeiro de 2014, com redução de 78% para o primeiro e de 8,8% para o ferroviário no desembolso com a contribuição. Os setores da construção e de transportes representam 4,8% e 4,5% do PIB. A estimativa é de que a renúncia fiscal de todos os setores desonerados poderia chegar a R\$ 24,7 bilhões em 2014 (DIEESE, 2013).

A Medida Provisória nº 584, de 10 de outubro de 2012, dispõe sobre as medidas tributárias referentes à realização no Brasil, dos Jogos Olímpicos e Parolímpicos de 2016, que desonerou, em 100% dos impostos federais, as incorporadoras que possuíam contratos para estes eventos esportivos (DIEESE, 2013).

4.3.5 LEI KANDIR

A Lei Complementar Nº 87, de 13 de setembro de 1996, conhecida como Lei Kandir, dispõe sobre o imposto dos Estados e do Distrito Federal sobre operações relativas à circulação de mercadorias e serviços (ICMS). Feita pelo então ministro do Planejamento, Antonio Kandir, transformou-se na Lei Complementar 87/96, que já foi alterada por várias outras leis complementares.

Seu objetivo principal consiste na isenção do pagamento de ICMS sobre as exportações de produtos primários e semielaborados ou serviços, além do aproveitamento de crédito para aquisição tanto de ativo imobilizado de uso quanto de energia elétrica. Por esse motivo, a Lei sempre provocou polêmica entre os governadores de estados exportadores, que alegam perda de arrecadação devido à isenção do imposto nesses produtos (LEITÃO *et al.*, 2012).

Ela foi aprovada em setembro de 1996, após longo período de negociações entre o governo federal e os estados. Sua discussão sucedeu em um ambiente em que se debatiam vários outros aspectos relacionados às finanças estaduais, municipais e distritais, principalmente os embates relacionados às dívidas públicas – mais especificamente as mobiliárias – que visam ao chamado “ajuste fiscal” (LEITÃO *et al.*, 2012).

Para o governo federal, a aprovação dessa lei era de fundamental importância para se criar mecanismos de incentivos às exportações via subtração dos impostos de produtos brasileiros destinados ao exterior. Sob a ótica do governo, a retirada deste imposto aumentaria a competitividade dos produtos primários e semielaborados nacionais no mercado mundial, aumentando as exportações, com efeitos positivos sobre a balança comercial do país. (LEITÃO *et al.*, 2012)

A Lei Kandir foi, então, dividida em duas etapas. Na primeira, iniciada em setembro/outubro de 1996, foram desoneradas as exportações de produtos primários e semielaborados, possibilitando o aproveitamento do crédito do ICMS pago nas aquisições de máquinas e equipamentos do ativo permanente. Na segunda etapa, a partir de janeiro de 1997, passaria também a ser aproveitado como crédito o ICMS pago nas aquisições dos materiais de uso e consumo das empresas, sistemática esta que não chegou a ser adotada pelos estados, haja vista os mecanismos de prorrogação do benefício utilizados por eles.

Até 2003, a Lei Kandir garantiu aos estados o repasse de valores a título de compensação pelas perdas decorrentes da isenção de ICMS, mas, a partir de 2004, a Lei Complementar 115 – uma das que alterou essa legislação –, embora mantendo o direito de repasse, deixou de fixar o valor. Com isso, os governadores precisam negociar a cada ano com o Poder Executivo o montante a ser repassado, mediante recursos alocados no orçamento geral da União.

Também em 2004, de acordo com Leitão *et al.* (2012), foi criado um auxílio financeiro da União, cujo intuito exclusivo era compensar a desoneração das exportações de bens primários e semielaborados ou de, pelo menos, amenizar o ânimo dos governantes insatisfeitos com o montante da perda de receita tributária. Para o governo federal, o auxílio financeiro aos estados, ao Distrito Federal e aos municípios seria um prêmio pela cooperação dos entes federados no esforço de obter resultados superavitários no comércio exterior. Os valores são distribuídos aos estados de acordo com coeficientes autorizados anualmente, por meio de previsão orçamentária e mediante edição de medidas provisórias.

Os primeiros repasses foram autorizados pela Lei Nº 10.966, de 15 de dezembro de 2004 e, posteriormente, pela Lei Nº 11.131, de 1 de julho de 2005, aprovando, em ambos os casos, o repasse do montante de R\$ 900 milhões na razão de um doze avos a cada mês. Ainda, por intermédio da Medida Provisória (MP) no 271, de dezembro de 2005, a qual aprovou crédito adicional no mesmo valor em duas parcelas – dezembro de 2005 e janeiro de 2006 –, condicionando a liberação dos recursos ao envio, pelos estados, de informações sobre a efetiva manutenção e aproveitamento do montante do imposto cobrado nas operações e prestações anteriores (LEITÃO *et al.*, 2012).

Conforme já discutido, o ICMS é um imposto estadual, ou seja, somente os governos dos estados e o Distrito Federal têm competência para instituí-lo, de acordo com a determinação da Constituição Federal (BRASIL, 1988). A Constituição atribuiu competência tributária à União para criar uma lei geral sobre o ICMS, o que foi feito por meio da Lei Kandir. Em termos práticos, a Lei proíbe a incidência do ICMS nas operações que incluam (BRASIL, 1996):

- livros, jornais, periódicos e o papel destinado a sua impressão;
- envio ao exterior de mercadorias, inclusive produtos primários e produtos industrializados semielaborados ou serviços;
- transações interestaduais relativas à energia elétrica e petróleo, inclusive lubrificantes e combustíveis líquidos e gasosos dele derivados, quando destinados à industrialização ou à comercialização;
- transações com ouro, quando definido em lei como ativo financeiro ou instrumento cambial;
- mercadorias utilizadas na prestação de serviço de qualquer natureza;
- transações que decorram da transferência de propriedade de estabelecimento industrial, comercial ou de outra espécie;
- transações decorrentes de alienação fiduciária em garantia, inclusive a operação efetuada pelo credor em decorrência do inadimplemento do devedor;
- transações de arrendamento mercantil, não compreendida a venda do bem arrendado ao arrendatário; e
- transações de qualquer natureza relativas à transferência de bens móveis salvados de sinistro para companhias seguradoras.

Dessa forma, pela Lei Kandir, o ICMS deve incidir sobre as seguintes operações:

- circulação de mercadorias, inclusive o fornecimento de alimentação e bebidas em bares, restaurantes e estabelecimentos similares;
- prestação de serviços de transporte interestadual e intermunicipal, por qualquer via, de pessoas, bens, mercadorias ou valores;
- prestações onerosas de serviços de comunicação, por qualquer meio, inclusive a geração, emissão, recepção, transmissão, retransmissão, repetição e ampliação de comunicação de qualquer natureza;
- fornecimento de mercadorias com prestação de serviços não compreendidos na competência tributária dos municípios;
- fornecimento de mercadorias com prestação de serviços sujeitos ao imposto sobre serviços, de competência dos municípios, quando a lei complementar aplicável expressamente o sujeitar à incidência do imposto estadual;
- entrada de mercadoria ou bem importados do exterior, por pessoa física ou jurídica, ainda que não seja contribuinte habitual do imposto, qualquer que seja a sua finalidade;

- serviço prestado no exterior ou cuja prestação se tenha iniciado no exterior; e
- entrada, no território do estado destinatário, de petróleo, inclusive lubrificantes e combustíveis líquidos e gasosos dele derivados, e de energia elétrica, quando não destinados à comercialização ou à industrialização, decorrentes de operações interestaduais, cabendo o imposto ao estado onde estiver localizado o adquirente.

Segundo Leitão *et al.* (2012), pode-se depreender que essa Lei teve como mote estimular os setores produtivos voltados à exportação de forma a favorecer o saldo da balança comercial, em função da desoneração fiscal, que poderia ser contabilizada como redução nos custos de produção destes setores. Dessa forma, constituiu-se em uma medida para tornar os bens e serviços comercializados mais competitivos no mercado internacional. Não obstante, segundo Kume & Piani (1997), a desoneração do ICMS das exportações de produtos primários e semielaborados tende a dirimir uma série de distorções resultantes da tributação sobre segmentos produtivos.

A referida Lei foi aprovada, à época, com uma estratégia imediata, a qual quebrou as resistências dos estados, ao oferecer a eles um “seguro-receita” que previa repasses automáticos em caso de queda da arrecadação. Criou-se, desta forma, um complexo mecanismo de compensação para garantir a manutenção da receita dos estados, minimizando, naquele momento, o conflito pela repartição de recursos.

4.3.5.1 A LEI KANDIR E O SETOR DE ALUMÍNIO

Um dos resultados da Lei Kandir foi a isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para a exportação do minério de ferro e minerais metálicos (ferro, manganês, bauxita – alumínio –, ouro, prata, urânio, chumbo, nióbio, cobre, cassiterita –estanho – e níquel), o que, por um lado, foi extremamente benéfico para a indústria mineral, dado que a sua produção é direcionada na sua quase totalidade para o mercado externo. Por outro lado, prejudicou Estados e Municípios, pois os mesmos perderam parcela da arrecadação de seus impostos e, ainda, os Municípios foram duplamente prejudicados devido à exoneração direta do ISS e à redução na partilha do produto de arrecadação do ICMS (LIRA, 2003).

A Figura 163 apresenta a participação percentual de produtos básicos, semielaborados e industrializados no valor da composição da pauta de exportações brasileiras entre 1997 e 2015.

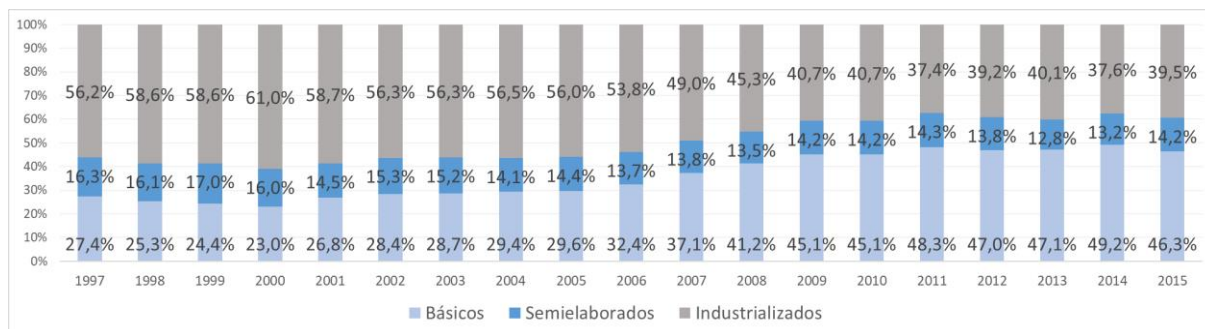


Figura 163: Participação (%) no Valor da Composição da Pauta de exportação Brasileira (1997-2015)

Fonte: MDIC/SECEX - Sistema Aliceweb (2016).

A partir da figura acima é possível perceber que os produtos básicos que em 1997 representavam 27,4% do valor ofertado pelo país no comércio internacional, ascenderam para 46,3% em 2015, estando acima dos 40% nos últimos sete anos, o que pode ser explicado pelos incentivos garantidos, pela Lei Kandir, para as exportações de produtos primários. Em contrapartida, os produtos industrializados, que em 1997 responderam por 56% da pauta exportadora, encerraram 2015 com 39,5% e ficaram abaixo de 50% nos últimos oito anos.

Em relação às perdas brutas¹⁰⁰ de arrecadação, a Figura 164 mostra o valor das mesmas nas exportações de produtos básicos e semielaborados, por unidades federativas em 2015.

¹⁰⁰ A perda bruta de arrecadação consiste na estimativa das perdas com as exportações sem a subtração das compensações, permitindo assim análises segmentadas por tipo de produto (básicos e semielaborados), apreciação dos montantes desonerados no período e comparação entre as UF's (FAPESPA, 2016).

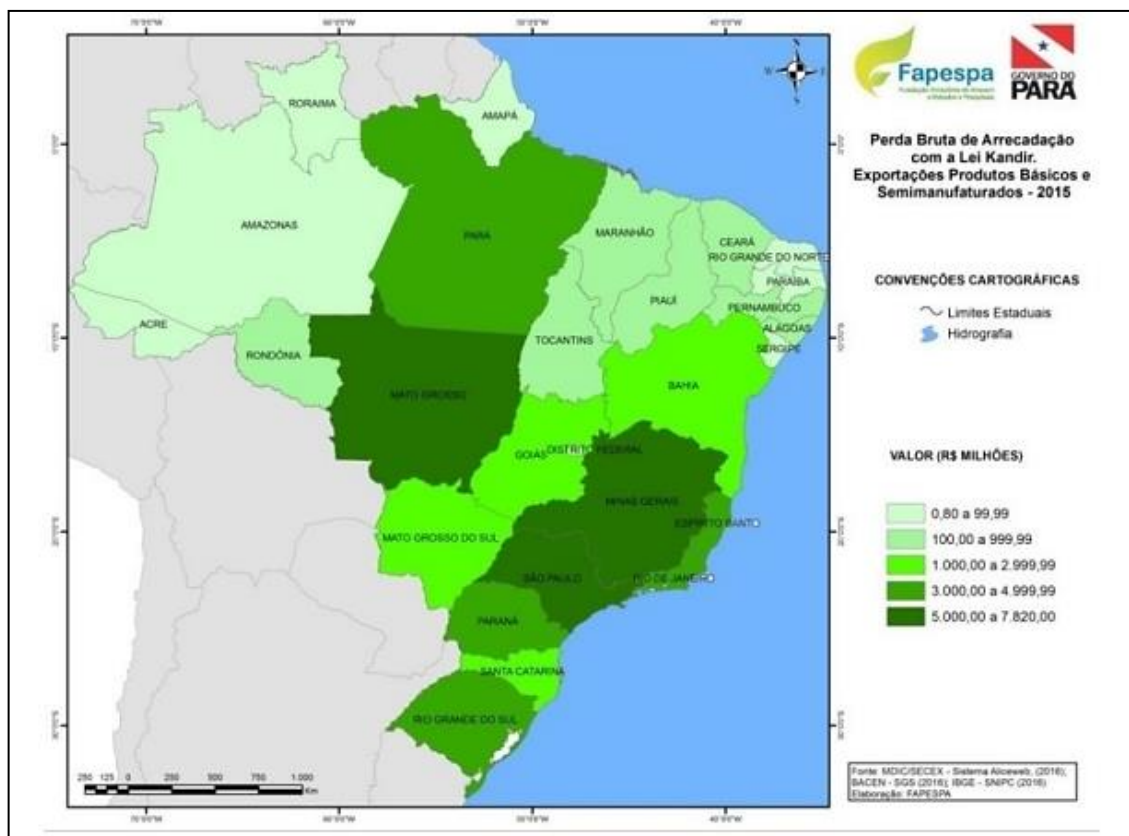


Figura 164: Perdas Brutas de Arrecadação com a Lei Kandir nas Exportações de Produtos Básicos e Semielaborados, por Unidades Federativas em 2015 (R\$ 1.000.000,00 – Valores corrigidos IPCA Dez/2015)

Fonte: FAPESPA (2015).

Como pode ser observado, as maiores perdas brutas de arrecadação foram das UF's de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso os quais foram os únicos a alcançarem valores acima de R\$ 5.000 milhões. Além disso, segundo FAPESPA (2015), as perdas brutas de arrecadação com a exportação de produtos básicos e semielaborados, corrigidas pelo IPCA/IBGE para Dez/2015, somaram R\$50.922 milhões em 2015 e R\$583.328 milhões entre 1997 e 2015.

A estimativa das perdas brutas do estado do Pará, onde se encontra 95% da reserva brasileira de bauxita (alumínio), foi de R\$ 3.792 milhões em 2015, o 7º entre as demais UF's, e entre 1997 e 2015 os R\$ 51.152 milhões equivalente a 8,8% do total nacional, representaram a 5ª maior perda bruta acumulada. Em compensação, de acordo com MME (2011), realizando-se uma comparação das exportações de bauxita, alumina, alumínio e produtos aluminíferos do Pará, entre 2000 e 2012, é possível notar que as mesmas aumentaram, respectivamente, 64,5%, 510%, 6% e 128%, o que provavelmente foi consequência do incentivo concedido pela Lei Kandir.]

4.4 POLÍTICAS PARA O CLIMA

Este documento enfatizará políticas ambientais com foco nas emissões brasileiras de GEE.

O Protocolo de Quioto, de 1997, estabeleceu obrigações quantificadas de limitação ou redução de emissões para os países industrializados, relacionados no Anexo I¹⁰¹ da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC). De acordo com a Convenção, os países Anexo I e os países não-Anexo I têm diferentes obrigações em relação à mudança do clima. O objetivo comum, contudo, foi um futuro em que o desenvolvimento se baseie em soluções menos intensivas em carbono, com base em critérios de sustentabilidade, o que requereria investimentos dos países desenvolvidos nos países em desenvolvimento, bem como transferência de tecnologias.

Dessa forma, o Brasil, de acordo com o regime da Convenção, não teria obrigações quantificadas de limitação ou redução de emissões de GEE. Contudo, o país desde então vem atuando de forma relevante na agenda da mudança do clima. Desde 1992, quando foi sede da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO 92 ou Rio 92), é cada vez mais evidente o comprometimento do Brasil em relação às mudanças climáticas (SEROA DA MOTTA, 2011; MCKINSEY & COMPANY, 2009). No âmbito da Convenção, por exemplo, o Brasil é responsável por numerosas iniciativas importantes, tais como a execução de diversos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), além de desenvolver programas e iniciativas governamentais de combate ao desmatamento e de incentivo à eficiência energética.

4.4.1 PLANO NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA

Em 1999, foi instituído pelo Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima o Grupo Executivo sobre Mudança do Clima no Brasil. Como resultado do trabalho deste Grupo, encaminhou-se ao Poder Legislativo, no dia 5 de junho de 2008, a proposta do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, por meio do Projeto de Lei nº 3.535/2008. Através deste, o Brasil declara que pretende assumir compromissos, voluntários, para reduzir as emissões de GEE, adotando medidas nacionais de mitigação (em inglês, *Nationally Appropriate Mitigation Actions* - NAMA).

O Plano inclui quatro grandes temas: mitigação; vulnerabilidade, impacto e adaptação, pesquisa e desenvolvimento e; fomento de capacidades e divulgação. Seus objetivos principais são: (i) estimular o aumento da eficiência, na busca constante por melhores práticas nos setores econômicos; (ii) manter a elevada participação da energia renovável na matriz elétrica, preservando a posição importante que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional; (iii) incentivar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz nacional de transportes e trabalhar para a estruturação de um mercado

¹⁰¹ Os países Anexo I, signatários do Protocolo de Quioto e da convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, têm como compromisso calcular e informar as emissões anuais de GEE através de um inventário de emissões. Já os países em desenvolvimento (não-Anexo I) não apresentam compromissos mandatórios, porém devem submeter um documento intitulado “Comunicação Nacional” contabilizando todas as suas emissões de GEE (também um inventário de emissões) por fontes e remoção de sumidouros.

internacional de biocombustíveis sustentáveis; (iv) buscar a redução sustentada das taxas de desmatamento em todos os biomas brasileiros, a fim de chegar ao desmatamento ilegal zero; (v) eliminar a perda líquida de cobertura florestal no Brasil até 2015; (vi) fortalecer ações intersetoriais relacionadas à redução das vulnerabilidades das populações; e (vii) identificar os impactos ambientais decorrentes das mudanças climáticas e estimular a pesquisa científica que possa traçar uma estratégia para minimizar os custos socioeconômicos de adaptação do país (MMA, 2008).

De forma a garantir que as ações previstas em cada um dos eixos estruturantes sejam realizadas, estão previstos instrumentos de ordem econômica e legal. Dessa forma, são previstas as seguintes ações estruturantes, com vistas a viabilizar o atingimento dos objetivos de mitigação (MMA, 2008):

- i) Capacitação e educação ambiental;
- ii) Disponibilização de linhas de crédito via Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Caixa Econômica Federal (CEF) para realização de investimentos em atividades que visem o desenvolvimento sustentável;
- iii) Fomento à atração de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL);
- iv) Criação do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, com intuito de prover os recursos financeiros para implementar o Plano Nacional sobre Mudança do Clima;
- v) Cooperação internacional, com vistas à capacitação técnica e à geração de conhecimento sobre o tema das mudanças climáticas globais.

4.4.2 FUNDO NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA

No ano seguinte, foi decretada a Lei Federal nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009 – a qual foi regulamentada pelo Decreto Federal 7.343, de 26 de outubro de 2010 – que criou o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC), também conhecido como Fundo Clima. Nos termos dispostos no artigo 2º da Lei Federal nº 12.114, o FNMC tem por objetivo “assegurar recursos para apoio a projetos ou estudos e financiamento de empreendimentos que visem à mitigação da mudança do clima e à adaptação à mudança do clima e aos seus efeitos” (BRASIL, 2009a). Este será constituído por recursos públicos e privados, dentre eles dotações orçamentárias da União, doações e empréstimos de instituições financeiras, dispostos no artigo 3º da lei federal.

Cerca de 60% da renda do Fundo vêm da produção e venda de petróleo bruto. O orçamento previsto inicial era de R\$ 226 milhões (US\$ 131.395,34). Desse total, R\$ 200 milhões, destinados pelo BNDES ao setor de produção, serão lançados como empréstimos e outras formas de crédito. Os R\$ 26 milhões restantes serão geridos e aplicados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), e poderiam ser transferidos aos estados e aos municípios por meio de acordos de cooperação e condições.

No primeiro ano do plano, 2011, concebeu-se o Plano Anual de Aplicação dos recursos financeiros do Fundo Nacional da seguinte forma, conforme apresenta a Tabela 70:

Tabela 70: Fundo Clima – Plano Anual de Aplicação dos Recursos Financeiros (2011)

Área	Tema	Recursos financeiros (R\$)
Adaptação – Desenvolvimento Tecnológico	Apoio à difusão de tecnologias de adaptação e mitigação das mudanças climáticas com benefício direto para as populações mais vulneráveis	4.000.000,00
Adaptação – Combate à Desertificação	Manejo florestal comunitário, pesquisa e desenvolvimento e difusão de tecnologias para o semi-árido	6.000.000,00
Adaptação – Prevenção de Desastres	Campanha educacional para melhor disposição do lixo	5.000.000,00
Mitigação – Infraestrutura	Investimentos em modais de transporte e melhoria da mobilidade urbana	até 100.000.000,00
Mitigação – Energia	Desenvolvimento tecnológico e da cadeia produtiva para a difusão do uso de energia solar e dos oceanos	até 100.000.000,00
Mitigação – Energia	Geração e distribuição local de energia renovável (eólica, solar, biomassa e oceanos)	Até 100.000.000,00
Mitigação – Indústria	Investimentos em fornos mais eficientes para produção de carvão vegetal	até 100.000.000,00
Mitigação – Indústria	Investimentos em máquinas e equipamentos com maiores índices de eficiência energética	até 100.000.000,00
Adaptação – Combate à Desertificação	Investimentos em viveiros, mudas nativas, revegetação de Áreas de Preservação Permanente (APPs), produção de frutos, fibras e madeiras nativas	até 100.000.000,00
Mitigação e Adaptação – Energia	Racionalização da limpeza urbana e disposição de resíduos, com aproveitamento para geração de energia	100.000.000,00

Fonte: Adaptado de MMA (2011b).

O MMA apresentou a proposta de diretrizes e prioridades, nos termos do art. 13 do Decreto 7.343/2010, cujas prioridades temáticas quanto à mitigação foram as seguintes (MMA, 2011b): ações relacionadas ao cumprimento dos objetivos estabelecidos nos planos setoriais, com recursos preferencialmente reembolsáveis, a saber, combate ao desmatamento dos biomas brasileiros, geração e distribuição de energia elétrica, agropecuária, produção de carvão vegetal e melhoria dos processos na siderurgia, transporte público urbano e sistemas modais de transportes interestadual de carga e passageiros, indústria de transformação e bens de consumo duráveis, indústrias químicas, fina e de base, indústria de papel e celulose, mineração, indústria da construção civil, serviços de saúde.

Desde o primeiro ano de funcionamento, em 2011, o Fundo Clima aumentou significativamente o apoio a projetos, sobretudo em função de parcerias com instituições que possuem finalidades e missões semelhantes e convergentes com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Os dados da evolução entre 2011 e 2014, em termos quantitativos, no apoio a projetos com recursos não-reembolsáveis, mostram um crescimento de 23 projetos apoiados em 2011 para 74 projetos apoiados no exercício de 2012, 81 projetos apoiados no exercício de 2013 e 7 projetos em 2014. Esse último ano foi, portanto, atípico em termos de quantidade de projetos apoiados. Isso decorreu parcialmente

em função da diminuição dos recursos disponíveis, de um lado, e, de outro, da preocupação do Fundo Clima em focar em projetos mais estruturantes (MMA, 2014).

Como balanço do Fundo Clima, durante os quatro anos de funcionamento (2011 a 2014), apoiaram-se com recursos não reembolsáveis 46 instituições e 189 projetos, e com os recursos reembolsáveis financiaram-se 5 empreendimentos. Os projetos apoiados com recursos não-reembolsáveis somam o valor aproximado de R\$ 94,8 milhões, dos quais cerca de R\$ 87 milhões já transferidos nos últimos quatro exercícios. Os projetos apoiados com recursos reembolsáveis somam o valor de R\$ 108,9 milhões, contratados até dezembro de 2014.

O Fundo Clima possui cinco áreas de atuação, que é a parte mais abrangente da decomposição de suas linhas de ação. A Figura 165 a seguir apresenta a distribuição dos projetos contratados com recursos não reembolsáveis entre os anos 2011 e 2014, por área de atuação do Fundo.

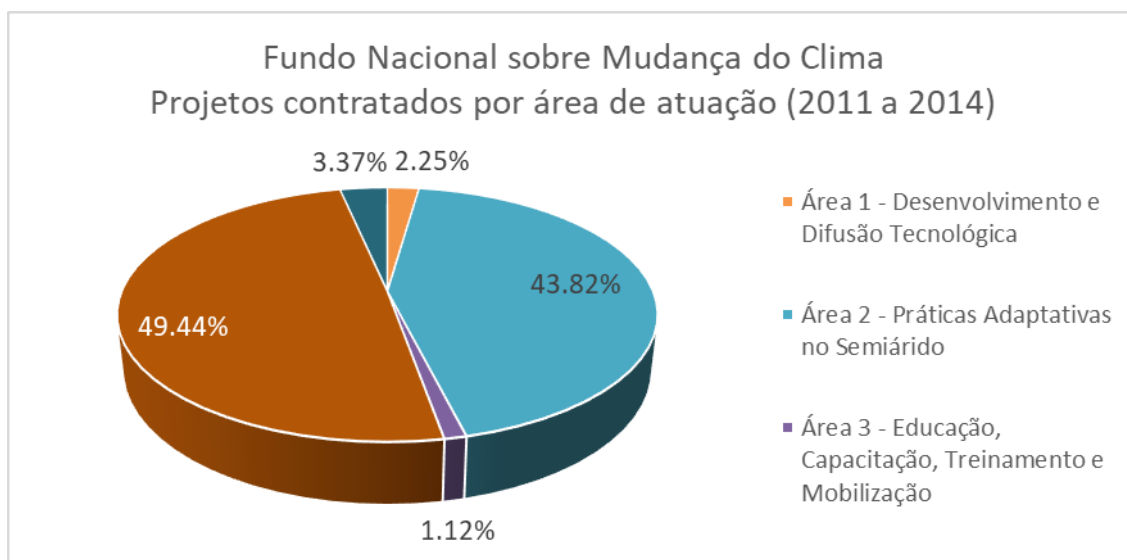


Figura 165:Fundo Clima – projetos contratos por área de atuação (2011-2014)

Fonte: MMA (2014).

Relativamente aos investimentos na indústria, o BNDES, agente financeiro do Fundo Clima, firmou contrato de financiamento de um projeto com recursos do Fundo Clima em 2013, na linha de produção mais eficiente de carvão vegetal. O projeto completo referente à linha de carvão vegetal deverá investir R\$ 60,9 milhões, dos quais R\$ 7,6 milhões originados do Fundo, na construção de fornos para ampliar a capacidade produtiva do tomador. Tal capacidade deverá ser ampliada em mais de 2/3 ao ano para fins de abastecimento de sua planta de produção de tubos de aço (MMA, 2013).

Ressalta-se que para acessar os recursos do Fundo Clima a empresa precisou comprovar que toda a madeira utilizada nos fornos tem origem em florestas plantadas, garantindo a sustentabilidade e o caráter renovável do carvão vegetal produzido por ela. Além disso, a própria utilização do carvão vegetal renovável é uma vantagem competitiva para a siderurgia brasileira, visto que gera menor emissão de GEE quando comparado à utilização de combustíveis fósseis, como, o carvão mineral.

4.4.3 POLÍTICA NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) foi instituída pela Lei Federal nº 12.187, em 29 de dezembro de 2009, ano seguinte ao lançamento do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e estabeleceu metas quantitativas de redução de emissões de GEE:

“Art. 12. Para alcançar os objetivos da PNMC, o País adotará, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1% (trinta e seis inteiros e um décimo por cento) e 38,9% (trinta e oito inteiros e nove décimos por cento) suas emissões projetadas até 2020” (BRASIL, 2009b).

Nesse sentido, destaca-se que, apesar do fracasso da COP 15 na negociação de um acordo global, o papel do Brasil na cúpula da ONU foi de destaque. Coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o país apresentou tais metas de contribuições voluntárias, baseadas no Plano Nacional sobre Mudança do Clima (WILLS, 2013; GURGEL e PALTSEV, 2013).

Com a proposta voluntária de redução, o governo pretende prevenir que o país emita entre 975 milhões e 1,05 bilhão de toneladas de dióxido de carbono (tCO₂) até 2020, em comparação com a previsão de emissões caso nenhuma ação fosse tomada (MMA, 2008), conforme demonstra a Tabela 71 a seguir.

Tabela 71: Metas voluntárias de reduções de emissões de GEE no Brasil

Ações de Mitigação	Projeção para 2020	Cenário 1 (MtCO ₂)	Cenário 1 (%)	Cenário 2 (MtCO ₂)	Cenário 2 (MtCO ₂)
Uso da Terra	1.084	669	24,7	669	24,7
Redução do Desmatamento na Amazônia (80%)		564	20,0	564	20,9
Redução do desmatamento no Cerrado (40%)		104	3,9	104	3,9
Agropecuária	627	133	4,9	166	6,1
Recuperação de pastos		83	3,1	104	3,8
Integração Lavoura Pecuária (ILP)		18	0,7	22	0,8
Plantio Direto		16	0,6	20	0,7
Fixação Biológica de Nitrogênio		16	0,6	20	0,7
Energia	901	166	6,1	207	7,7
Eficiência Energética		12	0,4	15	0,6
Incremento no Uso de Biocombustíveis		48	1,8	60	2,2
Expansão da Oferta de Energia por Hidroelétricas		79	2,9	99	3,7

Ações de Mitigação	Projeção para 2020	Cenário 1 (MtCO ₂)	Cenário 1 (%)	Cenário 2 (MtCO ₂)	Cenário 2 (MtCO ₂)
Fontes Alternativas (PCH, bioeletricidade, eólica)		26	1,0	33	1,2
Outros	92	8	0,3	10	0,4
Siderurgia – substituição do carvão de desmate por plantado		8	0,3	10	0,4
Total	2.073	975	36,1	1.052	38,9

Fonte: RATHMANN (2012).

Conforme indica a Tabela 71, grande parte destas reduções (aproximadamente 69% da meta) se daria com relação às mudanças nas condições do uso da terra, por meio da redução do desmatamento na Amazônia e no Cerrado. Interessante também notar que a natureza voluntária conferida ao compromisso está alinhada com o discurso dos países em desenvolvimento nas negociações internacionais. O quadro multilateral que se desenha, segundo BANCO MUNDIAL (2011), é a assunção de NAMAs por esses países, caracterizadas como ações voluntárias mensuráveis, verificáveis e passíveis de serem relatadas. O compromisso deverá ser considerado setorialmente, o que aponta para um endereçamento segmentado no que se refere aos limites, às ações e a outros aspectos estruturais do processo.

Antes mesmo da edição da PNMC, o Estado do Amazonas já havia aprovado sua pioneira política estadual por meio da Lei nº 3.135, de 5 de junho de 2007. A essa iniciativa seguiram os Estados do Tocantins (Lei nº 1.917, de 17 de abril de 2008), Goiás (Lei nº 16.497, de 10 de fevereiro de 2009), Santa Catarina (Lei nº 14.829, de 11 de agosto de 2009), São Paulo (Lei nº 13.798, de 9 de novembro de 2009), Rio de Janeiro (Lei 5.690, de 14 de abril de 2010), Pernambuco (Lei nº 14.090, de 17 de junho de 2010) e Espírito Santo (Lei nº 9.531, de 16 de setembro de 2010) (BANCO MUNDIAL, 2011).

Em 9 de dezembro de 2010 foi promulgado o Decreto nº 7.390, que regulamenta alguns artigos da PNMC e impõe metas de emissões de GEE por setores econômicos. Diferentemente das estimativas preliminares feitas pela PNMC, o Decreto nº 7.390 estabelece as linhas de base, e as emissões totais do cenário de mitigação, sem apresentar mais detalhes sobre cada setor. A exceção é o setor de energia, pois o governo considerou o Plano Decenal de Energia (PDE) como sendo um cenário de mitigação, já que inclui numerosos esforços para aumentar a eficiência energética, a participação das energias renováveis e da energia nuclear na matriz energética brasileira (EPE, 2010a).

Relativamente às medidas de mitigação para os demais setores, não há um maior detalhamento, sendo apenas citadas algumas medidas sem apresentar um valor quantitativo de redução de emissões (SANTOS, 2012). Uma das conclusões é que a principal contribuição para reduzir as emissões de GEE do Brasil viria dos esforços para se reduzir o desmatamento da Amazônia (WILLS, 2013).

Quanto à indústria especificamente, o artigo 5º do Decreto afirma que a projeção das emissões nacionais de GEE para o ano de 2020 é de 3.236 milhões tCO₂eq, de acordo com detalhamento metodológico descrito no Anexo deste Decreto, composto pelas projeções para os seguintes setores (BRASIL, 2010b):

- (i) Mudança de Uso da Terra: 1.404 milhões de tCO₂eq;
- (ii) Energia: 868 milhões de tCO₂eq;
- (iii) Agropecuária: 730 milhões de tCO₂eq; e
- (iv) Processos Industriais e Tratamento de Resíduos: 234 milhões de tCO₂eq.

Ou seja, houve uma junção de setores constituindo o, então, setor “Processos Industriais e Tratamento de Resíduos”, conforme destacado no Decreto. Em seu Anexo, destaca-se que o volume de emissões brasileiras de GEE, entre 2006 e 2020, oriundas das atividades industrial e de tratamento de resíduos (e também da agropecuária) foi projetado com base na relação existente entre o volume de emissões e o nível de atividade da economia durante o período entre 1990 e 2005. Assim, foram estimados Modelos Vetoriais de Correção de Erros (VEC) para os anos de 1990 a 2005, utilizando-se dados do Segundo Inventário para as emissões brasileiras de GEE neste período. Para captar os efeitos da atividade econômica sobre nível das emissões foram utilizados dados do Produto Interno Bruto (PIB), obtidos no endereço do Banco Central na rede mundial de computadores - Série 7326 do Sistema Gerenciador de Séries Temporais (BRASIL, 2010b).

O Decreto destaca que, reconhecidas as limitações estatísticas da amostra estudada, em razão do ainda baixo número de observações disponíveis, os modelos VEC foram responsáveis pela projeção entre os anos de 2006 e 2020, considerando a previsão de crescimento médio anual do PIB de 5% para os próximos anos. Segue Tabela 72, que apresenta os resultados projetados.

Tabela 72: Emissões de Processos Industriais e Tratamento de Resíduos (mil tCO₂eq)

2006	2007	2008	2009	2010
123.648	131.105	137.805	137.552	144.361
2011	2012	2013	2014	2015
151.507	159.006	166.877	175.138	183.807
2016	2017	2018	2019	2020
192.905	202.454	212.476	222.993	234.031

Fonte: Adaptado de BRASIL (2010b).

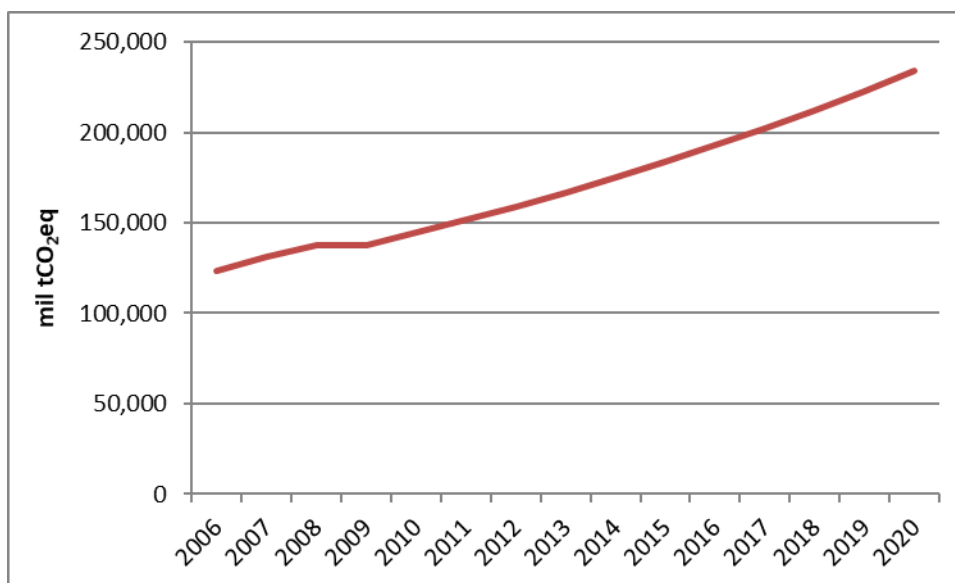


Figura 166 - Emissões de Processos Industriais e Tratamento de Resíduos

Fonte: Adaptado de BRASIL (2010b).

Conforme destacado na introdução, os dados recentes do projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases Estufa em Setores-Chave do Brasil” apontam como estimativa de emissões em 2020 do setor industrial o valor aproximado de 186 MtCO₂e (MCTI, 2016b), 20% inferior às emissões que constam no Decreto (BRASIL, 2010b).

4.4.4 PLANO INDÚSTRIA

O Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação, mais conhecido como Plano Indústria, desenvolvido pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), teve sua elaboração determinada por meio do Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que regulamenta a PNMC, e é parte integrante da estratégia brasileira de mitigação e adaptação à mudança do clima. Seu objetivo é “preparar a indústria nacional para o cenário futuro, que já se desenha, em que a produtividade-carbono, que equivale à intensidade de emissões de GEE por unidade de produto, será tão importante quanto a produtividade do trabalho e dos demais fatores para definir a competitividade internacional da economia” (MDIC, 2013).

O Plano Indústria se sustenta em três pilares:

- (i) Implantação gradual de um sistema de medição, relato e verificação (MRV) das emissões de GEE da atividade industrial;
- (ii) Plano de Ação com conjunto de medidas e instrumentos de incentivo à redução de emissões; e

(iii) Criação de Comissão Técnica do Plano Indústria (CTPI), composta por representantes do governo, indústria, sociedade civil e meio acadêmico, responsável pelo detalhamento das ações do Plano, monitoramento e revisão periódica.

O Plano Indústria adota como referência a meta de redução de emissões de processos industriais e uso de energia no setor industrial de 5% em relação ao cenário tendência (*Business As Usual* – BAU) projetado para 2020 (o que equivale a 308,16 MtCO₂eq). O papel da meta é estimular a melhoria da eficiência dos processos industriais e não coibir o crescimento econômico. Em síntese, o plano objetiva garantir a continuidade do desenvolvimento competitivo do Brasil e preparar o setor para enfrentar os desafios da mudança climática.

O plano destaca que a atividade industrial contribui para o aumento da concentração de GEE, principalmente devido ao consumo de energia gerada a partir da queima de combustíveis fósseis (combustão) e às emissões dos processos de transformação de seus insumos em produtos (processos industriais). O mesmo foi elaborado com base na Segunda Comunicação Nacional, que totalizava em 78,83 milhões de toneladas de CO₂equivalente (MtCO₂eq) as emissões decorrentes do uso de energia pelo setor industrial em 2005, enquanto que as emissões de processos industriais (*Industrial Process and Product Use - IPPU*) totalizaram 77,19 MtCO₂eq (MDIC, 2013). O cenário tendencial da segunda comunicação foi projetado considerando taxa de crescimento de 5% das emissões a partir de 2005, de acordo com a metodologia do Decreto 7.390/2010. Dessa forma, o resultado da projeção foi uma emissão total de 324, 38 MtCO₂eq¹⁰².

A meta de redução de 5% com base no BAU se aplica exclusivamente ao volume total de emissões do setor industrial. A eventual revisão desse valor e o possível estabelecimento de metas de redução de emissões por setor ou por empresa ocorrerão durante as revisões periódicas do Plano Indústria, ao longo dos próximos anos (MDIC, 2013). O plano destaca que este processo de revisão será fundamentado tecnicamente pela CTPI, considerando as ações referentes à mitigação de emissões de GEE pelas empresas, cabendo à CTPI definir o método de contabilização dessas ações, com base em um cenário de referência que leve em consideração as especificidades de cada setor.

O Plano Indústria deixa muito clara a preocupação do setor em ter sua competitividade prejudicada. Ele ressalta que (MDIC, 2013):

“O governo entende que o Brasil, como país em desenvolvimento e de industrialização tardia, não deve assumir um ônus desproporcional a sua responsabilidade histórica no aumento das concentrações de GEE na atmosfera e as suas capacidades, consoante o princípio das ‘responsabilidades comuns,

¹⁰² Conforme já previamente destacado, estudos mais recentes do sistema energético brasileiro indicam que este valor será menor em função do contexto da economia brasileira. De acordo com MCTI (2016b), as emissões do setor industrial devem ser de aproximadamente 186MtCO₂e em 2020.

porém diferenciadas’, base do regime internacional de combate às mudanças climáticas, consignado na Convenção-Quadro”.

Ele ressalta ainda que “as reduções de emissões por parte da Indústria de Transformação não são necessárias para o cumprimento desses compromissos”, fundamentando que é possível atingir uma redução de até 40% das emissões em relação à projeção de 2020, superando, portanto, o compromisso nacional voluntário de 36,1% de redução prevista na PNMC, apenas com as reduções previstas nos planos setoriais finalizados em 2010 (Decreto 7.390/2010)” (MDIC, 2013). Assim, o plano destaca que os esforços do setor industrial para a redução de emissões de GEE devem ser balanceados de acordo com o grau de responsabilidade da indústria sobre as emissões globais do Brasil e se deve, logo, concentrar nos setores nos quais há o melhor custo de oportunidade para o país reduzir suas emissões.

Além disso, o plano apresenta quatro “características peculiares” da Indústria de Transformação brasileira, em relação a outras atividades emissoras de GEE, que impõem que as ações de redução de emissões não comprometam o desenvolvimento industrial. São elas (MDIC, 2013):

- a continuidade do desenvolvimento econômico e social no Brasil requer o crescimento acelerado do consumo de bens industriais, tendo em vista que o consumo per capita desses bens no país está abaixo da média mundial e até de outros países em desenvolvimento com níveis similares de renda;
- os produtos da Indústria de Transformação são, em sua maioria, comercializáveis internacionalmente (*tradables*) e, devido aos compromissos internacionais do Brasil (por exemplo, na Organização Mundial de Comércio – OMC), as elevações internas de custo implicam perda de competitividade e risco de substituição da produção doméstica por importações;
- os bens industriais mais intensivos em emissões de GEE possuem aplicação disseminada no tecido econômico e baixo grau de substituição técnica e econômica, sendo, portanto, necessários ao desenvolvimento do restante da economia e não possuindo substitutos próximos; e
- a elevada intensidade das emissões de GEE de alguns setores se explica, em boa medida, por características intrínsecas da atividade tanto pela centralidade do carbono em processos industriais de transformação químico-física (redução, calcinação, etc.) de bens minerais (carvão, calcário) quanto pelo consumo em larga escala de combustíveis fósseis (particularmente na geração de calor).

A partir de tais características, o Plano Indústria busca evitar efeitos como a redução do consumo devido aos preços mais elevados, com possível substituição por produtos, industriais ou não, de menor intensidade de carbono, além da substituição do produto brasileiro, devido à perda de competitividade por importações, levando, ainda, à redução das exportações de produtos industriais brasileiros. Ou

seja, o Plano Indústria apresenta um caráter protecionista do setor, visando a garantir a competitividade da indústria brasileira.

Em termos práticos, o plano destaca que poucos setores industriais concentram a maior parte das emissões de GEE, de modo que se propõe que, em uma primeira fase, os setores que são responsáveis pela maior parte das emissões sejam focalizados de forma particular (MDIC, 2013). São eles: alumínio, cal, cimento, ferro-gusa e aço, papel e celulose, química e vidro.

As principais entidades representativas desses setores forneceram informações e esclarecimentos que permitiram fazer uma descrição dos subsetores da indústria, porém não houve o comprometimento da redução de emissões de GEE nem metas para cada um deles (apenas a meta global de redução de 5% com base nas emissões de 2005). Dessa forma, o Plano Indústria apresenta duas principais características: a preocupação com a perda de competitividade da indústria brasileira e a descrição dos setes setores mencionados em termos de intensidade energética.

O plano ressalta que seu objetivo será buscar a manutenção da eficiência em emissões específicas dos setores que estão em boa posição na comparação internacional, a criação de estrutura para monitoramento, relato e verificação de emissões de GEE, com a institucionalização dos inventários de emissões em todas as empresas de médio e grande porte dos setores abrangidos pelo Plano, bem como a implementação de ações transversais de eficiência energética e de uso de materiais para promover reduções de emissões com ganhos de competitividade em toda a indústria (MDIC, 2013). Para tanto, afirma que serão realizados estudos de linhas de base e cenários tendenciais de emissões, levantamentos de tecnologias sustentáveis e oportunidades de mitigação nas cadeias produtivas dos setores considerados, e estabelecimento de canal permanente de comunicação entre indústria e governo para identificar obstáculos à melhoria de gestão de carbono e medidas para superá-los.

A partir do estabelecimento dessas pré-condições, portanto, o Plano Indústria afirma que será possível estabelecer e verificar metas precisas por GEE, setor e empresa e, assim, preparar a indústria para o cumprimento de metas quantitativas de redução de emissões após 2020. Por fim, é apresentada a organização em cinco eixos de ação – gestão de carbono; reciclagem e co-processamento; eficiência energética e cogeração; ações voluntárias de mitigação; e tecnologias sustentáveis – com as respectivas estratégias de implementação. O Anexo I do Plano Indústria apresenta o plano de ação, resumido no Quadro 5 a seguir.

Quadro 5: Plano Indústria – Plano de Ação

Objetivo do Plano	Ação	Meta	Custo	Período de Execução	Indicador
Gestão de Carbono	Inventários corporativos de emissões anuais	80% dos estabelecimentos	-	A partir de 2013	Número de inventários
	Inventários simplificados para PME	100 inventários	-	2013	Número de inventários
	Banco de dados de fatores de emissão	Criação de banco de dados e plataforma web	-	2014	Banco de dados
	Capacitação técnica para coleta de dados	30 capacitações por ano	-	2013	Número de pessoas capacitadas
	Sistema de Informações sobre emissões industriais	Sistema internet	-	2014	Sistema internet
	Cenários de emissão para setor industrial	Estudos	-	2014	Estudos
Eficiências Energética e Cogeração	Selo de eficiência energética para bens de capital	Criação do selo	-	2013	Selos criados
	Linhas de crédito para redução de intensidade de carbono	Criação de linhas	-	2013	Linhas criadas
	Implementar ações do PNEf ¹⁰³	Definidas pelo PNEf	-	2012	Definidas pelo PNEf
Reciclagem e o aproveitamento de coprodutos	Avaliação de barreiras regulatórias ao processamento de resíduos industriais	Estudos	-	2013	Estudos realizados

¹⁰³ Plano Nacional de Eficiência Energética.

Objetivo do Plano	Ação	Meta	Custo	Período de Execução	Indicador
	Tratamento tributário diferenciado para matéria-prima reciclada	Propostas de alteração da tributação	-	2013	Alteração da tributação
Tecnologias Sustentáveis	Banco de dados de tecnologias sustentáveis	Sistema internet	-	2013	Sistema internet
	Sistema expresso (<i>fast-track</i>) para concessão de patentes de tecnologias sustentáveis	Definidas pelo INPI ¹⁰⁴	-	2013	Definidos pelo INPI
Iniciativas voluntárias	Levantamentos setoriais de oportunidades de mitigação mediante projetos de redução e emissão (MDL)	Estudos	-	2013	Estudos realizados
	Programa Voluntário de Redução de Emissões (PPB Verde)	Proposta de critérios	-	2013	Número de "projetos verdes" apoiados

Fonte: Adaptado de MDIC (2013).

¹⁰⁴ Instituto Nacional de Propriedade Industrial.

4.4.5 PLANO SIDERURGIA

Em 2008, o MDIC contratou a elaboração de um estudo para subsidiar a elaboração de políticas públicas de incentivo à utilização do carvão vegetal sustentável, oriundo de florestas plantadas, para uso na siderurgia, visando:

- (i) promover a redução de emissões;
- (ii) evitar o desmatamento de floresta nativa; e
- (iii) incrementar a competitividade brasileira da indústria de ferro e aço no contexto da economia de baixo carbono.

O plano setorial de redução de emissões da siderurgia foi fundamentado em discussões técnicas e econômicas sobre o aumento da competitividade da indústria siderúrgica de forma sustentável. Traçaram-se três cenários¹⁰⁵ de baixa emissão para a produção de ferro-gusa com carvão vegetal renovável em 2020: o cenário de base (BAU), sem intervenção política, baseado na extrapolação linear das tendências históricas de crescimento de emissões; o cenário de intervenção 1, com ações para substituir madeira de floresta nativa por floresta plantada; o cenário de intervenção 2, com ações para controle das emissões de metano no processo de carbonização; e o cenário de intervenção 3, que combina as ações para expansão das florestas plantadas com ações para melhoria do processo de carbonização (MMA, 2014b e CGEE, 2015). A Tabela 73 e a Figura 167 a seguir representam estes cenários.

Tabela 73: Plano Siderurgia –Emissões (MtCO₂eq) em 2020 segundo os diferentes cenários

Cenário de Base (BAU)	Cenário de Intervenção 1	Cenário de Intervenção 2	Cenário de Intervenção 3
15,97	13,32	5,60	2,94

Fonte: CGEE (2015).

O cenário de intervenção 3 foi eleito como cenário alvo e, combinado com as restrições impostas pelos requisitos de MRV das reduções de emissões, adotou-se como meta estimativa mais conservadora o intervalo de 8 a 10 milhões de toneladas de CO₂eq, consignada no Acordo de Copenhague. Esta se tornou a meta específica de redução de emissões de GEE do Plano

¹⁰⁵ Cenários desenvolvidos como base para ações do Plano Siderurgia. Esses cenários já se mostram desatualizados, visto que o plano incentiva atualizações periódicas sobre a situação da indústria e das tecnologias existentes. Aqui, os resultados não são o foco, e sim os esforços na existência de uma política voltada para um setor específico.

Siderurgia, que deveria ser alcançada por meio da substituição de uso de mata nativa por floresta plantada na produção de carvão vegetal utilizado como termo-redutor na produção de ferro-gusa.

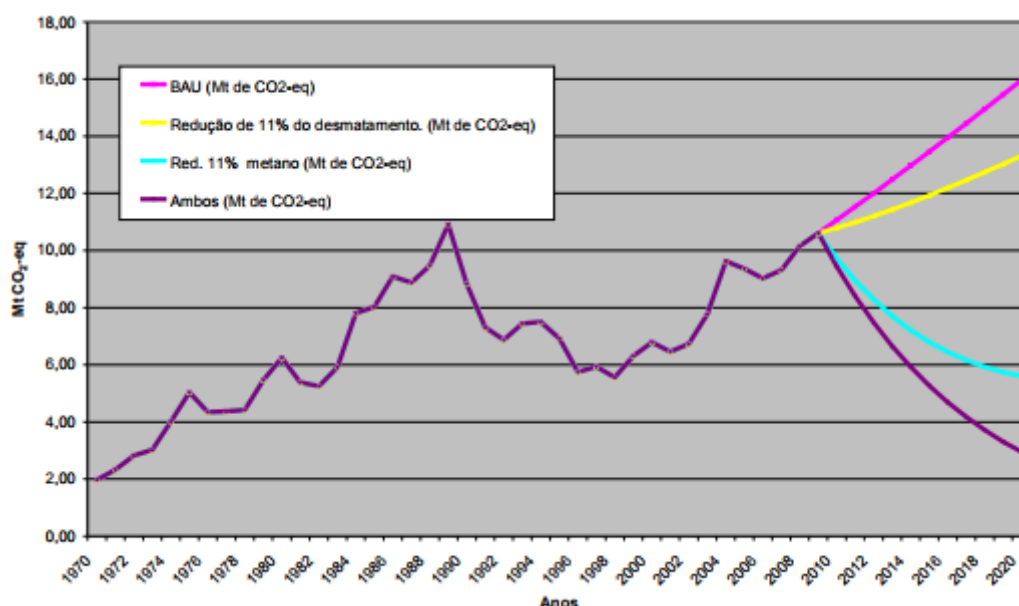


Figura 167: Projeção das emissões de CO₂ na produção do carvão vegetal empregado na fabricação de ferro gusa

Fonte: MMA (2014b)

A coordenação do Plano Siderurgia foi compartilhada pelo MMA e pelo MDIC, cada qual atuando dentro de suas competências e com os instrumentos à disposição, sendo o primeiro responsável pelo componente florestal e o segundo pelos componentes industriais e tecnológicos do processo de carbonização.

O diagnóstico inicial do Plano Siderurgia indicou que, para garantir matéria-prima de origem renovável no horizonte 2020, seria necessário o plantio de 2 milhões de hectares adicionais de florestas para a produção de carvão vegetal. Entretanto, a significativa redução da demanda internacional por ferro-gusa devido à crise econômica mundial determinou a necessidade de reavaliação das principais quantificações do Plano. Na segunda fase do Plano serão elaborados estudos adicionais para revisão e atualização das quantificações (MCTI, 2016a). Destacam-se ainda como barreiras: disponibilidade de terra, morosidades nos processos de licenciamentos ambientais e necessidade de incentivos maiores do governo para viabilizar esta rota.

Em 2013 foi lançado um estudo sobre a modernização da produção de carvão vegetal, como subsídio para uma revisão do plano Siderurgia (CGEE, 2015). Neste documento foi identificada a possibilidade de aumento do rendimento no processo de carbonização da madeira, sendo observado um potencial para redução das emissões de metano quando o rendimento gravimétrico na conversão de madeira em carvão é aumentado (RAAD & MELO, 2014). Caso o

rendimento gravimétrico médio¹⁰⁶ nacional aumente da média de 26% para 35%, por meio do uso de processos de produção mais modernos, pode-se obter uma alteração nas emissões de metano significativas, saindo dos atuais 78 kg CH₄/t de carvão para 30 kg CH₄/t de carvão.

A adoção de tecnologias de controle de temperaturas e de fornos mais avançados são os caminhos mais eficientes para atingir a meta de eficiência, entendendo-se que o governo pode ser um ator fundamental para estimular esse avanço. Além disso, sistemas mais avançados que realizam a queima dos gases gerados na carbonização podem ser ainda mais eficientes, no entanto se considerou que essa tecnologia ainda está em processo de desenvolvimento, possuindo barreiras significativas de mercado.

Ainda, a redução do uso de mata nativa na produção de carvão vegetal deve ser acompanhada de um incremento no cultivo de florestas plantadas, indicando a demanda por maior assertividade em planos estratégicos setoriais, por meio do Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal, que informa a evolução do plantio dos associados da Instituto Aço Brasil (IABr). A participação da Indústria Brasileira de Árvores (IBA), da Associação Mineira de Silvicultura (MAS) e da Associação Sul-Mato-Grossense de Produtores e Consumidores de Florestas Plantadas (Reflore) deverão promover relatórios estatísticos, prevendo o aumento do consumo do carvão vegetal e redução da dependência de floresta nativa.

Entretanto, o estudo (CGEE, 2015) indica algumas barreiras para a redução dos gases de efeito estufa na implementação do Plano Siderurgia, são elas:

- ausência de conscientização do impacto negativo na eficiência de carbonização devido à falta de controle do processo;
- ausência de planos de treinamento para equipe de produção de carvão vegetal com foco na melhoria do processo;
- gargalos tecnológicos para validação da queima de fumaças (vapores e GEE) produzidas na carbonização;
- elevado déficit de florestas plantadas até 2020; e
- ausência de novas tecnologias operando em regime de escala mínima para validar operações mais eficientes.

¹⁰⁶ Refere-se à massa de carvão final em relação à massa de madeira. Em síntese é o rendimento da carbonização dado em percentual. A melhoria do RG se dá via controles mais eficientes e modernos do processo de produção do carvão vegetal nas tecnologias atuais de fornos de alvenaria. O estudo em questão estima que até 2020 os produtores passarão a adotar processos mais eficientes passando do RG nacional atual para uma média nacional de 35% (CGEE, 2015).

Visando a superar essas barreiras e garantir o sucesso do Plano Siderurgia, foram analisadas medidas de incentivo para o setor, gerando estudos para a superação das barreiras técnicas (principalmente associadas ao aumento da eficiência gravimétrica) indicando a adoção das medidas adequadas para o processo.

O principal instrumento da primeira fase do Plano foi articulação institucional promovida pelos órgãos do governo e pelas associações do setor que resultou na adoção de medidas voluntárias de incremento da sustentabilidade. Também foram criadas linhas de crédito específicas para o financiamento de fornos de carbonização mais eficientes. Destaca-se o Fundo Clima do BNDES, focado em apoiar investimentos na melhoria de eficiência e sustentabilidade na produção de carvão vegetal, sendo que duas modalidades do fundo atendem diretamente os objetivos do Plano Siderurgia: Carvão Vegetal e Fundo Clima Projetos Inovadores. Posteriormente, disponibilizou-se o Inova Sustentabilidade.

Entre 2011 e 2013, o Fundo Clima apoiou diversos projetos, tais como a construção de laboratórios de monitoramento de gases de emissão, a aquisição de equipamentos para monitoramento do desmatamento, projetos de recuperação de ecossistemas e capacitação técnica em manejo florestal. Porém, segundo CGEE (2015), apenas um projeto foi encontrado com foco no principal no Plano Siderurgia: a empresa Vallourec Florestal está desenvolvendo projeto para aumentar a sua capacidade de produção de carvão vegetal, atualmente na faixa de 300 mil toneladas por ano, focando na transformação de madeira em carvão com maior eficiência gravimétrica.

Em pequenas e médias empresas, predominou um desconhecimento do corpo técnico em relação aos financiamentos na modernização do parque industrial, percebendo-se uma ausência de contratos das mesmas com o BNDES. Ademais, mesmo quando possuem conhecimento, essas empresas possuem dificuldades de se enquadrar no investimento mínimo do banco.

Já o principal resultado da primeira fase do plano foram movimentos da sociedade civil em prol da sustentabilidade, como a adoção do Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal pelas empresas associadas ao IABr e o Carvão Cidadão:

- Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal: iniciativa das principais indústrias siderúrgicas nacionais a carvão vegetal visando a analisar os principais problemas do setor como a relação entre a da qualidade de vida das pessoas e a sustentabilidade, o carvão como recurso renovável constituindo um diferencial para a indústria brasileira de aço e o apoio da cadeia produtiva do aço às políticas e programas públicos voltados à silvicultura sustentável.

- Carvão Cidadão: formação de uma entidade jurídica sem fins lucrativos criada pelas siderúrgicas do polo de Carajás com objetivo de fiscalizar as atividades relacionadas à cadeia produtiva do carvão no que tange o cumprimento da legislação trabalhista. Busca promover reuniões educativas e informativas para os trabalhadores e integração com o Ministério do Trabalho, além de realizar auditorias em carvoarias e elaborar relatórios.

De acordo com MCTI (2016a), os produtores independentes de ferro-gusa também estabeleceram iniciativas voluntárias em busca da sustentabilidade da produção no âmbito do Grupo de Trabalho para a Sustentabilidade da Produção de Carvão Vegetal de Uso Siderúrgico no Brasil (GT Carvão Sustentável), coordenado pelo Instituto Ethos. Pode-se citar também, dentro da política de boas práticas no processo de produção de carvão vegetal, um conjunto de empresas mineradoras e produtoras de ferro-gusa no Mato Grosso do Sul que assinaram um documento onde se comprometem a aderir ao ProMove Carvão Vegetal, um novo sistema de verificação capaz de rastrear e certificar a origem da madeira utilizada no processo produtivo.

Segundo MCTI (2016a), o escopo para a Segunda Fase de implementação do Plano Siderurgia consistirá na revisão e na atualização dos objetivos quantificados no Plano, além da criação de instância de governança que congregue os atores relevantes para o setor. Nesta fase, também será estabelecido um sistema de monitoramento das ações específicas do Plano, bem como será realizada uma maior articulação com o Plano ABC para o fomento às florestas plantadas.

4.4.6 NDC BRASILEIRA

Mais recentemente, na 21ª Conferências das Partes (COP 21), realizada no final de 2015, em Paris, na França, foi aprovado o Acordo de Paris, que entrou em vigor no ano seguinte, e tem como objetivo limitar a elevação da temperatura a “bem abaixo” de 2°C em relação ao nível pré-industrial e “perseguir esforços para limitar o aumento a 1,5°C” (UN, 2015). Ele foi assinado por 175 nações, de um total de 195, e cada país apresentou sua própria meta para reduzir emissões poluentes, sendo o seu cumprimento não obrigatório – exigência esta imposta pelos Estados Unidos. Tal comprometimento de redução de emissão de GEE foi baseado em planos nacionais descritos nas chamadas iNDCs (pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas, em inglês *intended Nationally Determined Contributions*).

A iNDC brasileira, apresentada em setembro de 2015 na Assembleia Geral da ONU, inclui a redução de 37% nas emissões de GEE em 2025 (equivalente à emissão de 1.346 milhões tCO₂e), e de 43% em 2030 (equivalente à emissão de 1.208 milhões tCO₂e), com base nos níveis registrados em 2005. Ela cobre o período pós-2020 e seu período de implementação corresponde a ciclos sucessivos de 5 anos (BRASIL, 2015b). Tal ciclo – que se iniciará após 2020 – foi

proposto pelo Brasil durante a COP 20, realizada em Lima, no Peru, em dezembro de 2014, resultando em um compromisso de mitigação em 2025 e em uma contribuição indicativa em 2030, para fins de previsibilidade dos agentes econômicos. Essa foi a abordagem adotada na INDC brasileira. A proposta se justificava por oferecer maior flexibilidade em relação às estimativas das contribuições pretendidas e eventual ajuste futuro, considerando que o novo acordo provavelmente incluiria processos de revisão do esforço global de mitigação já antes de 2025, o que realmente ocorreu na decisão sobre o Acordo de Paris (BRASIL, 2015b).

Para fins de apresentação da INDC no plano internacional, não foram informados compromissos setoriais. Abrangeu-se na INDC brasileira todo o território nacional, tendo cabido ao governo definir, no nível doméstico, quais setores pretende priorizar, bem como as políticas e ações para implementá-la. No entanto, para fins internos, no processo de quantificação da contribuição nacional, indicou-se qual o nível de esforço que se espera obter de cada setor, para fins de planejamento e consideração da viabilidade da contribuição de mitigação (BRASIL, 2015a).

O componente de mitigação da INDC brasileira foi construído com base em circunstâncias nacionais, e levou em consideração iniciativas para os três setores com maior participação no perfil brasileiro de emissões em 2012 (Mudança do Uso da Terra e Florestas, Energia e Agropecuária). Tomou como base a quantificação total da contribuição nacional para cumprimento até 2025 e, de maneira indicativa, até 2030, mas não se restringindo somente a essas iniciativas, a saber:

- i) aumentar o consumo de biocombustíveis sustentáveis na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, expandindo a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e aumentando a parcela de biodiesel na mistura do diesel;
- ii) no setor florestal e de mudança do uso da terra:
 - fortalecer o cumprimento do Código Florestal, em âmbito federal, estadual e municipal;
 - fortalecer políticas e medidas com vistas a alcançar, na Amazônia brasileira, o desmatamento ilegal zero até 2030 e a compensação das emissões de GEE provenientes da supressão legal da vegetação até 2030;
 - restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, para múltiplos usos;
 - ampliar a escala de sistemas de manejo sustentável de florestas nativas, por meio de sistemas de georeferenciamento e rastreabilidade aplicáveis ao manejo de florestas nativas, com vistas a desestimular práticas ilegais e insustentáveis;

- iii) no setor da energia, alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030, incluindo:
- expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030;
 - expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar;
 - alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030.

Além disso, o Brasil também pretende:

- iv) no setor agrícola, fortalecer o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) como a principal estratégia para o desenvolvimento sustentável na agricultura, inclusive por meio da restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030 e pelo incremento de 5 milhões de hectares de sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas (iLPF) até 2030;
- v) no setor industrial, promover novos padrões de tecnologias limpas e ampliar medidas de eficiência energética e de infraestrutura de baixo carbono;
- vi) no setor de transportes, promover medidas de eficiência, melhorias na infraestrutura de transportes e no transporte público em áreas urbanas.

A Tabela 74 a seguir apresenta as estimativas de emissões feitas para os anos 1990, 2005, 2025 e 2030, elaborada com base nas premissas adotadas nas ações acima descritas.

Tabela 74: NDC brasileira – Emissões por setor (milhões tCO₂eq – GWP¹⁰⁷ 100)

Setor	1990		2005		2010		2014		2025		2030	
Energia	194	14%	332	16%	371	29%	470	37%	598	44%	688	57%
Agropecuária	356	25%	484	23%	407	32%	424	33%	470	35%	489	40%
Emissão	826	58%	1.398	66%					392	29%	143	12%
Florestas e Uso da Terra												
Remoção	-	-	211	10%	349	27%	233	18%	274	20%	274	23%
Líquido	-	-	1.187	56%					118	9%	131	11%
Processos Industriais	48	3%	77	4%	90	7%	94	7%	98	7%	99	8%

¹⁰⁷ *Global Warming Potential* (Potencial de Aquecimento Global).

Setor	1990		2005		2010		2014		2025		2030	
Tratamento de Resíduos	12	1%	54	3%	54	4%	63	5%	61	5%	63	5%
Total	1.436		2.133		1.272		1.285		1.346		1.208	
Redução em relação à 2005	-		-		40%		40%		37%		43%	

Fonte: Adaptado de BRASIL (2015a) e MCTI (2017b).

Ao se analisar o tratamento do setor industrial na NDC brasileira, observa-se a existência de um caráter generalista, que se resume a “promover novos padrões de tecnologias limpas e ampliar medidas de eficiência energética e de infraestrutura de baixo carbono”. Isto gera oportunidades, que estão associadas à diversidade de medidas que podem ser implementadas, principalmente quando se considera a heterogeneidade dos processos produtivos dos setores-chave da indústria brasileira – por exemplo, modernização das plantas industriais, aumento da produtividade, otimização do uso de insumos, tais como matéria-prima, energia e combustível, redução de custos operacionais e logísticos, mudança da matriz energética e maior competitividade no cenário internacional, dentre outros. Nota-se, também, um aumento nas emissões absolutas, deixando claro o foco no aumento da eficiência carbônica da produção.

Por outro lado, tal generalização dificulta a mensuração dos esforços relacionados à baixa emissão a serem direcionados para o setor, bem como de potenciais resultados das medidas adotadas. Além disso, há outros desafios a serem enfrentados pela indústria brasileira, tais como o alto custo das tecnologias mais energo-eficientes ou de *Carbon Capture and Storage* (CCS), a não adaptabilidade das inovações tecnológicas importadas às plantas industriais nacionais, a indisponibilidade de combustíveis renováveis, a dificuldade de contratação de empréstimos e financiamentos pelas empresas e a não priorização de investimentos em eficiência energética (CEBDS, 2017).

No que pese a interação da indústria com os demais setores da economia, destaca-se, a partir das medidas propostas, que o setor é dependente de ações sob responsabilidade de outros setores para maximizar sua contribuição para a NDC (Figura 168).



Figura 168: A relação do setor indústria com os demais setores da NDC brasileira

Fonte: CEBDS (2017).

O relatório “Oportunidades e desafios da NDC brasileira para o setor empresarial” (CEBDS, 2017), destaca três principais grupos de ações para o setor industrial:

- (i) a ampliação de medidas de eficiência energética;
- (ii) a ampliação de medidas de infraestrutura de baixo carbono; e
- (iii) a promoção de novos padrões de tecnologias limpas.

Deve-se mencionar, contudo, que, por não apresentar valores absolutos de meta, o conjunto de diretrizes sugerido pela NDC para o setor industrial pode ser considerado vago. Dificulta-se, assim, a mensuração de esforços relacionados a baixa emissão a serem direcionados para o

setor, bem como de potenciais resultados das medidas adotadas. Em especial, a NDC não apresenta definição clara ou uma única interpretação sobre quais medidas de infraestrutura de baixo carbono se pretende ampliar.

Além disso, o MCTI desenvolveu um estudo, a partir dos resultados do projeto “Opções de Mitigação de Opções de Gases de Efeito Estufa (GEE) em Setores-Chave do Brasil”, que visa a contribuir para a elaboração da estratégia de implementação da NDC brasileira. De maneira geral, os principais resultados deste estudo referentes ao setor industrial destacam oportunidades na substituição de combustíveis e na eficientização na geração de calor e vapor, por meio da troca de queimadores (MCTI, 2017).

Particularmente, são ressaltados ganhos significativos de eficiência na conversão de energia térmica na indústria por medidas de custo fixo praticamente nulo, como controle adequado de queima, bem como por medidas de custo fixo baixo, como a reposição de equipamentos no final da vida útil (troca de queimadores por *Low-Nox Burners* – LNB). Há ainda ganhos de eficiência elétrica na indústria, reduzindo a necessidade de expansão de plantas termelétricas a carvão (MCTI, 2017).

O estudo sugere que o cumprimento da NDC brasileira não geraria pressões significativas sobre as taxas de crescimento da economia brasileira. Analisando os principais setores impactados na adoção de um dos cenários (BC0¹⁰⁸), verificou-se que a meta geraria maior impacto em termos de redução do PIB, relativamente ao cenário de referência (REF) em 2025, sobre o segmento de refino de petróleo. Por outro lado, segundo MCTI (2017), a adoção das medidas custo-efetivas de eficientização energética no setor de petróleo e gás natural traria considerável ganho econômico. Considerando que a principal empresa produtora de óleo e gás no Brasil é integrada e detém o monopólio do refino de petróleo no país, o estudo compreende que a perda de valor adicionado da atividade de refino seria absorvida em virtude do benefício auferido no segmento de exploração e produção (E&P).

Já a implementação de um outro cenário (BC10) em 2030 afetaria, significativamente, o crescimento do PIB da cadeia siderúrgica e do setor elétrico. Por outro lado, o setor agrícola e a cadeia sucroalcooleira seriam positivamente impactados. Os efeitos negativos sobre os setores de mineração e siderurgia decorreriam, principalmente, do efeito de uma eventual internalização

¹⁰⁸ BC0 refere-se ao cenário de baixo carbono no qual não há sinal de preço para as emissões, porém as melhores tecnologias disponíveis (MTD), do tipo *no regret* (viáveis economicamente ao longo de sua vida útil, porém, não são implementadas em decorrência de outras barreiras), para mitigação das emissões são aplicadas. REF refere-se ao cenário de referência, no qual são levadas em consideração as metas estabelecidas por políticas públicas, acordos e planos setoriais. Enquanto que BCx refere-se ao cenário de baixo carbono que abrange não só as medidas consideradas no BC0, como também há um sinal de preço, US\$ X/tCO₂, (X = 10, 25, 50, 100), para as emissões, viabilizando a implementação de opções de mitigação adicionais.

de um custo de carbono sobre os custos de produção, em particular devido à carbono-intensidade dos insumos de produção. Mais do que isso, em face ao encadeamento desse setor com a construção civil, verificar-se-iam significativos impactos sobre a construção civil e a oferta de serviços imobiliários e de aluguel (MCTI, 2017).

4.5 POLÍTICA AMBIENTAL COM ÊNFASE EM CONTROLE DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Esta política possui como objetivo controlar as emissões de poluentes atmosféricos de fontes fixas¹⁰⁹ e com abrangência de impacto local (NOx, SOx, MP – Material Particulado).

Neste caso, diferentes instrumentos poderiam ser usados isoladamente ou de forma combinada, tais como padrões associados a tecnologias (tanto para controle de emissão quanto para o processo industrial – normalmente denominadas como BAT¹¹⁰), padrões de emissão de poluentes (associados a uma concentração na exaustão associada à fonte fixa), mercados de emissões, tributação de emissões, etc. O Brasil utiliza o instrumento de comando e controle de padrões de emissão de fontes fixas.

Segundo MMA (2017), no Governo Federal, a instância regulamentadora das emissões atmosféricas é o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que por meio de suas resoluções determina os limites máximos de emissões de poluentes para fontes fixas, como caldeiras a gás natural, óleo combustível e biomassa, e processos industriais, siderurgia, celulose, fertilizantes, vidro, etc.

As resoluções CONAMA relativas a fontes fixas consistem em (MMA, 2017):

- Resolução CONAMA Nº 5, de 15 de junho de 1989: A fixação de parâmetros para a emissão de poluentes gasosos e materiais particulados (materiais sólidos pulverizados) por fontes fixas começou a ser efetuada por meio dessa Resolução, que determinou a necessidade de se estabelecer limites máximos de emissão e a adoção de padrões nacionais de qualidade do ar.
- Resolução CONAMA Nº 3, de 28 de junho de 1990: Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Em seu Art. 1º, a mesma define que são padrões de qualidade ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

¹⁰⁹ São as que ocupam uma área relativamente limitada, permitindo uma avaliação direta na fonte. As fontes classificadas como fixas referem-se às atividades da indústria de transformação, mineração e produção de energia através de usinas termelétricas.

¹¹⁰ *Best Available Technologies*.

- Resolução CONAMA nº 8, de 6 de dezembro de 1990: Estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes de poluição.
- Resolução CONAMA Nº 382, de 26 de dezembro de 2006: Estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Esta resolução representou uma mudança de abordagem do tema. Nas resoluções anteriores do PRONAR, considerava-se a qualidade do ar como parâmetro básico, admitindo-se emissões maiores onde as condições atmosféricas fossem mais favoráveis. Pela Resolução Nº 382/2006, fixam-se limites específicos de emissão para cada tipo de fonte ou combustível utilizado. Ele se aplica a todas as fontes fixas instaladas a partir da sua vigência, ou seja, 2007.
- Resolução CONAMA Nº 436, de 22 de dezembro de 2011: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 2 de janeiro de 2007, complementando, assim, a Resolução Nº 382/2006, impondo às fontes antigas novos limites. Para a maioria dos segmentos da indústria, os limites foram igualados, ou seja, as fábricas antigas terão que se modernizar e diminuir substancialmente suas emissões, equiparando-se às fábricas novas. A Resolução restringe as emissões de poluentes de treze dos principais setores da indústria nacional, determinando limites de emissão dos principais poluentes e com prazos fixos para a implementação das mudanças.

Ainda de acordo com MME (2017), esta última Resolução induziu uma revolução tecnológica no Brasil, sendo uma das medidas de maior impacto ambiental que o CONAMA aprovou nos últimos anos, trazendo uma profunda mudança tecnológica ao nosso parque industrial e diminuindo de forma expressiva as emissões destas indústrias, que por serem as mais antigas, são justamente as que se localizam dentro das áreas urbanas mais consolidadas, com maior impacto poluidor.

Usualmente medidas de controle de NO_x aumentam a eficiência dos queimadores e ajudam o controle de emissões de CO₂. O controle de MP também pode se basear no ajuste da razão Ar/Combustível, com benefícios para mitigação. No caso de SO_x, ainda que o seu controle viabilize no futuro a adoção de captura de carbono baseada em aminas, ela representa um consumo parasítico nas plantas industriais. Logo, pode levar a maiores emissões de CO₂.

A seguir são apresentados, resumidamente, os limites de emissão estabelecidos na Resolução nº 436/2011 para os segmentos industriais tratados no presente estudo.

4.5.1 CELULOSE

Na Resolução Nº 436/2011 são estabelecidos limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de fabricação de celulose. Os mesmos são apresentados abaixo.

Equipamento	MP ⁽¹⁾	ERT ⁽¹⁾ (expresso como SO ₂)	SO _x ⁽¹⁾ (expresso como SO ₂)	NO _x ⁽¹⁾ (expresso como NO ₂)
Caldeira de Recuperação (≤2000 tSS ⁽²⁾ /d de capacidade nominal)	240	15	100	470
Caldeira de Recuperação (>2000 tSS ⁽²⁾ /d de capacidade nominal)	150	15	100	470
Tanque de Dissolução	0,5 kg/tSS ⁽²⁾	0,08 kg/tSS ⁽²⁾	NA ⁽³⁾	NA ⁽³⁾
Forno de Cal	180	30	NA ⁽³⁾	470

(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca a 8% de oxigênio, com exceção dos limites estabelecidos para o tanque de dissolução;
 (2) tSS - toneladas de sólidos secos;
 (3) N.A. - não aplicável.

Figura 169: Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes do processo de fabricação de celulose da Resolução Nº 436/2011

Fonte: MMA (2011a).

Em relação às demais definições, fica estabelecido que (MMA, 2011a):

“Os gases não condensáveis (GNC), concentrados e diluídos, gerados nas unidades produtivas do processo de fabricação deverão ser coletados e encaminhados ao forno de cal, caldeira de recuperação ou outro sistema de tratamento específico com limite de emissão estabelecido pelo órgão ambiental licenciador; na ocorrência de duas ou mais fontes cujo lançamento final seja efetuado em duto ou chaminé comum, as medições devem ser feitas individualmente; quando houver impossibilidade de realização de medições individuais, de acordo com a metodologia normatizada ou equivalente aceita pelo órgão ambiental licenciador, estas poderão ser efetuadas no duto ou chaminé comum e os limites de emissão devem ser ponderados individualmente com as respectivas vazões das fontes em questão para o cálculo do novo limite de emissão resultante; em função das características locais da área de influência da fonte poluidora sobre a qualidade do ar, o órgão ambiental licenciador poderá estabelecer limites de emissão mais restritivos, inclusive considerando o incômodo causado pelo odor além dos limites do empreendimento; deverão ser atendidos os limites de emissão estabelecidos neste anexo em um prazo de até 5 (cinco) anos, a partir da data de publicação desta Resolução, exceto para forno Broby (Smelter); os fornos Broby (Smelter) deverão ser substituídos por caldeiras de recuperação num prazo máximo de 15 (quinze) anos, a partir da data de publicação desta Resolução, devendo as etapas

desta substituição constar em cronograma, acordado e acompanhado pelo órgão ambiental licenciador.”

4.5.2 ALUMÍNIO

A seguir são apresentados os limites de emissões da Resolução Nº 436/2011 para poluentes atmosféricos provenientes de processos da indústria de alumínio primário. A mesma separa os limites de emissão para fábricas de alumínio primário com capacidade de produção acima, igual ou menor que 120.000 toneladas por ano. Os mesmos são apresentados nas figuras a seguir.

Fontes de Emissão (Unidades de medida)	Limites de emissão	
	Material Particulado	Fluoreto Total
Forno de Calcinação (kg/t Alumina)	2,00	NA
Sala de Cubas (kg/t Al) ⁽²⁾	4,80	1,15
Forno de Cozimento de Anodos (kg/t Equivalente Al)	0,50	0,20
Total da Redução (kg/t Al) ^{(1) (3) (4)}	5,00	1,25

(1) As emissões das fontes das salas de cubas e do forno de cozimento de anodos são limitadas pelos valores acima, desde que a soma destas emissões não ultrapassem os valores fixados para o Total da Redução por meio de medições realizadas numa mesma campanha;

(2) Soma das emissões da saída do sistema de controle primário e lanternim;

(3) A emissão Total da Redução, compreende as emissões das Salas de Cubas e Fornos de Cozimento de Anodos;

(4) Os limites de emissão para empresa existente com tecnologia de anodos Soderberg com capacidade superior a 120.000 t/ano serão estabelecidos pelo órgão ambiental licenciador, devendo estar compatível com os limites fixados para o Total da Redução, desta tabela;

NA - Não Aplicável.

Figura 170: Limites de emissão de poluentes atmosféricos provenientes do processo de fabricação de alumínio primário da Resolução Nº 436/2011 para fábricas com capacidade de produção acima de 120.000 toneladas por ano

Fonte: MMA (2011a).

Fontes de Emissão (Unidades de medida)	Limites de emissão	
	Material Particulado	Fluoreto Total
Forno de Calcinação de Hidrato (kg/t Alumina)	2,00	NA
Sala de Cubas (kg/t Al)	7,5	2,5

Figura 171: Limites de emissão de poluentes atmosféricos provenientes do processo de fabricação de alumínio primário da Resolução N° 436/2011 para fábricas com capacidade de produção igual ou menos que 120.000 toneladas por ano

Fonte: MMA (2011a).

Além disso, a Resolução define que (MMA, 2011a):

“O atendimento aos limites de emissão deve ser determinado levando-se em conta a produção do setor avaliado; deverão ser excluídas do programa de monitoramento as situações transitórias que não representam a condição típica do processo de produção de alumínio primário, por exemplo, partida de uma linha ou de um grupo de cubas e parada e partida de uma cuba com o catodo reconstruído; no caso de monitoramento de lanternins, por tratar-se de uma fonte linear, deverá ser adotado um método específico de medição de emissões, por exemplo, métodos USEPA 14 ou 14A, ou outro método equivalente, desde que aceito pelo órgão ambiental licenciador; deverão ser atendidos os limites de emissão estabelecidos neste anexo em prazos de: até 2 (dois) anos para as fábricas com capacidade de produção acima de 120 mil t/ano; até 10 (dez) anos para as fábricas com capacidade de produção menor ou igual a 120 mil t/ano.”

4.5.3 QUÍMICA

As Resoluções 382/2006 e 436/2011 estabelecem limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos gerados nos processos de produção de fertilizantes, ácido fosfórico, ácido sulfúrico e ácido nítrico. Os limites são estabelecidos de acordo com o processo em questão, unidade de produção e fonte de emissão.

As Resoluções se diferem em relação à data de instalação das plantas. A Resolução de 2011 incorpora as fontes já existentes antes de 2007, já que a Resolução anterior não levava em consideração estas plantas. Neste caso, para as unidades de produção de ácido fosfórico os limites de emissões de fluoretos totais o prazo para entrar em conformidade foi de 5 anos. Os demais casos devem atender a Resolução desde sua publicação.

Quanto aos limites de emissão, ambas as Resoluções seguem os mesmos valores. Dentre os poluentes considerados para unidades de fabricação de fertilizantes são relacionados amônia, fluoretos totais, e materiais particulados, conforme demonstrado seguir:

Unidade de Produção	Fontes de emissão	Amônia ⁽¹⁾	Fluoretos Totais ⁽¹⁾	MP ⁽¹⁾
Misturadoras	Misturadores /Peneiramento/ Transferências	NA	NA	75
Beneficiamento Concentrado Fosfático	Secagem	NA	NA	150
	Moagem e Transferências	NA	NA	75
Fertilizantes Fosfatados (exceto MAP e DAP)**	Acidulação/Granulação (Granuladores / Secadores e Resfriadores)	NA	0,10 kg/t P ₂ O ₅ alim.	75
	Classificação e Transferências	NA	NA	75
Fertilizantes Fosfatados: MAP e DAP	Neutralização /Amoniação/Granulação	0,02 kg/t produto	0,03 kg/t P ₂ O ₅ alim.	75
	Secadores e Resfriadores	NA		75
	Classificação e Transferências	NA	NA	
Fertilizantes Nitrogenados	Evaporação, Granulação e Perolação	60*	NA	75
	Secadores, Resfriadores, Classificação e Transferências	NA	NA	75

a) expresso em mg/Nm³, base seca, a menos que seja explicitado de outra forma
 *) Para Resolução 436/2011: não se aplica em unidades de ureia existentes com tecnologia de perolação
 **) Para Resolução 436/2011: não se aplica em unidades de produção de termofosfato
 NA - não aplicável

Figura 172: Limites de emissão de poluentes atmosféricos para as fontes fixas existentes nas unidades de fabricação de fertilizantes de acordo com as Resoluções N° 382/2006 e N° 436/2011

Fonte: MMA(2011a).

No caso dos processos de fabricação de ácido sulfúrico, ácido nítrico e ácido fosfórico, são estabelecidos limites também para os poluentes SO_x e NO_x, conforme a seguir:

Unidade de Produção	Fontes de emissão	SO ₂	SO ₃
Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)*	Torre de absorção de H ₂ SO ₄ – Dupla absorção	2,0 kg/t de H ₂ SO ₄ 100%	0,15 kg/t H ₂ SO ₄ a 100%

Nota: (1) resultados expressos em base seca.

* Não se aplicam às plantas de simples absorção convertidas para dupla absorção e plantas de ácido sulfúrico integradas a processos de ustulação de minério.

Figura 173: Limites de emissão para fontes fixas existentes na fabricação de ácido sulfúrico de acordo com as Resoluções N° 382/2006 e N° 436/2011

Fonte: MMA (2011a).

Unidade de Produção	Fontes de emissão	NO _x ⁽¹⁾
Ácido Nítrico (HNO ₃)*	Torre de absorção de HNO ₃	1,6 kg/t de HNO ₃ a 100%

Notas: (1) Resultados Expressos como NO₂ em base seca ;

* Não se aplicam às plantas de baixa pressão ou baixa escala de produção, menor que 120 t/dia.

Figura 174: Limites de emissão para fontes fixas existentes na fabricação de ácido nítrico de acordo com as Resoluções N° 382/2006 e N° 436/2011

Fonte: MMA(2011a).

Unidade de Produção	Fontes de emissão	Fluoretos Totais	MP
Ácido Fosfórico (H ₃ PO ₄)	Reação de formação de H ₃ PO ₄ , filtragem e concentração	0,04 kg/t de P ₂ O ₅ alimentado	75 g/Nm ³

(1) Resultados expressos em base seca.

Figura 175: Limites de emissão para fontes fixas existentes na fabricação de ácido fosfórico de acordo com as Resoluções N° 382/2006 e N° 436/2011

Fonte: MMA (2011a).

Além disso, a Resolução define que (MMA, 2011a):

“Nos casos da produção de fertilizantes e da produção de ácidos, o somatório das taxas de emissão (expressas em quilograma de poluente por tonelada de produto ou por tonelada de P₂O₅ alimentado) das chaminés e dutos de cada unidade de produção deve atender, em conjunto, ao respectivo limite de emissão estabelecido”.

4.5.4 SIDERURGIA

A Resolução 436/2011 do CONAMA também estabeleceu limites de emissão para a siderurgia nacional, em usinas integradas, semi-integradas (minimills) e usinas de pelotização de minério de ferro em unidades instaladas ou com licença de instalação requerida antes de 2 de janeiro 2007, ampliando, dessa forma, a resolução de 2006 que contemplava apenas unidades instaladas após 2007.

Os limites estabelecidos para as usinas integradas e semi-integradas são mostrados na Figura 176.

Unidade de Produção	Fontes de Emissão Pontual	MP ⁽¹⁾	SO ₂	NO _x (1)	% O ₂ ⁽¹⁾
Coqueria	Sistema de Despoeiramento do Desenformamento	40	NA	NA	NA
	Câmara de Combustão dos Fornos de Coque	50	800	700	7%
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	70	600	700	NA*
	Sistema Secundário de Despoeiramento	70	NA	NA	
Alto forno a Coque	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	40	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	40	NA	NA	
Alto Forno a Carvão Vegetal	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	50	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	50	NA	NA	
Aciaria LD	Sistema Primário de Despoeiramento	80	NA	NA	
	Sistema Secundário de Despoeiramento	40	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento da Dessulfuração de Gusa	40	NA	NA	
	Sistema de Despoeiramento dos Fornos de Cal	100	NA	470	8%
Aciaria Elétrica	Sistema Primário e Secundário de Despoeiramento (2)	≤ 50 t/c: 50	NA	NA	NA
		> 50 t/c: 40			
Laminação	Fornos de Reaquecimento de Placas com Queima de Gases Siderúrgicos	60	1000	700	7%
Pelotização	Sistema de Exaustão do Forno de Pelotização	70	700	700	NA
Central Termelétrica	Caldeira com Queima de Gases Siderúrgicos	60	600	350	5%

Figura 176: Limites de emissão para fontes fixas existentes nas siderúrgicas integradas e semi-integradas de acordo com as Resoluções Nº 382/2006 e Nº 436/2011

(1) Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em case seca e no teor de oxigênio explicitado.

(2) t/c = toneladas de aço / corrida.

NA – Não aplicável

Fonte: MMA (2011a).

Ressalta-se que as medições das fontes de aciaria LD (conversor a oxigênio) e aciaria elétrica devem ser feitas considerando o ciclo completo de produção de aço, seguindo a metodologia normatizada ou equivalente aceita pelo órgão ambiental licenciador.

Fica a critério do órgão o estabelecimento de limites máximos para as fontes de emissões da indústria siderúrgica que empregam óleo combustível derivado do alcatrão (OCDA).

O prazo para atendimento dos limites estabelecidos é apresentado na Figura 177.

Unidade de Produção	Fontes de Emissão Pontual	Parâmetros		
		MP	SO ₂	NO _x
Coqueria	Sistema de Despoeiramento do Desenformamento	5	NA	NA
	Câmara de Combustão dos Fornos de Coque	7	3	3
Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	7	3	3
	Sistema Secundário de Despoeiramento	7	NA	NA
Alto forno a Coque	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	7	NA	NA
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	5	NA	NA
Alto Forno a Carvão Vegetal	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	3	NA	NA
	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corrida	3	NA	NA
Aciaria LD	Sistema Primário de Despoeiramento	3	NA	NA
	Sistema Secundário de Despoeiramento	5	NA	NA
	Sistema de Despoeiramento da Dessulfuração de Gusa	5	NA	NA
	Sistema de Despoeiramento dos Fornos de Cal	3	NA	3
Aciaria Elétrica	Sistema Primário e Secundário de Despoeiramento	3	NA	NA
Laminação	Fornos de Reaquecimento de Placas com Queima de Gases Siderúrgicos	5	7	3
Pelotização	Sistema de Exaustão do Forno de Pelotização	3	3	3
Central Termelétrica	Caldeira com Queima de Gases Siderúrgicos	5	3	3

NA = Não Aplicável.

Figura 177: Prazos (em anos) para atendimento dos limites estabelecidos na resolução CONAMA 436/2011 na siderurgia.

Fonte: MMA(2011a).

4.5.5 CIMENTO E VIDRO

A Resolução do CONAMA 436/2011 estabelece os limites de emissão de poluentes atmosféricos na indústria de cimento Portland, para fontes instaladas ou com licença de operação requerida antes de 2 de janeiro de 2007, buscando, dessa forma, abranger as fábricas não incluídas na resolução de 2006. Os limites de emissões estabelecidos são detalhados na a seguir.

Equipamentos	MP*	Óxidos de nitrogênio (como NO ₂)
Fornos de clínquer sem coprocessamento	50 ⁽¹⁾⁽⁴⁾	1000 ⁽³⁾⁽⁴⁾
Fornos de clínquer com coprocessamento	50 ⁽¹⁾⁽⁴⁾	800 ⁽³⁾⁽⁴⁾
Resfriadores de clínquer	50	NA
Moinhos de cimento	50	NA
Secadores de escória e de areia	50 ⁽²⁾	NA
Ensacadeiras	50	NA

Figura 178: Limites de emissão para fontes fixas existentes na produção de cimento portland de acordo com as Resoluções Nº 382/2006 e Nº 436/2011

Fonte: MMA (2011a).

*resultados expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e com teor de oxigênio definido para dará fonte:

- (1) teor de oxigênio – 11%
 - (2) teor de oxigênio – 18%
 - (3) teor de oxigênio – 10%
 - (4) para fornos de clínquer via úmida e via semiúmida (vertical) os valores de emissão serão definidos pelo órgão ambiental licenciador.
- NA – Não aplicável

Caso exista emissão a partir de dois ou mais equipamentos em um duto ou chaminé em comum e não seja possível realizar a verificação do atendimento dos limites individuais, será de responsabilidade do órgão ambiental fixar o limite do conjunto.

Ademais, a resolução estabeleceu no ano de 2011 os seguintes prazos:

- Até 10 anos para material particulado;
- Até 5 anos para emissões de NOx.

No caso dos vidros, na Resolução 436/2011 os limites de poluentes atmosféricos são estabelecidos para os processos dos fornos de fusão dos vidros. Esta não inclui fornos cujo vidro fundido é removido manualmente aqueles com capacidades nominais de produção inferiores a 8

t/d. Nesses casos, deve-se adotar as melhores práticas disponíveis de processo¹¹¹, operação e manutenção de acordo com o órgão ambiental licenciador para minimizar as emissões atmosféricas.

A Resolução 436/2011 sofre pequenas modificações em relação à anterior, CONAMA 382/2006, ao incorporar fábricas já em operação em 2007 aos limites de emissão. Estas plantas têm um prazo de 10 anos para a sua adequação, em relação aos particulados e emissões de NOx. Já os limites de emissões de SOx devem ser atendidos de imediato.

Os poluentes atmosféricos provenientes dos fornos de fusão que são relacionados na Resolução, podem ser do tipo particulados, NOx e SOx. A Regulação requer um máximo de emissão em relação à tonelada de vidro fundido (t v.f.). Os limites de emissão para a fabricação de vidros estão conforme a seguir, discriminadas as diferenças em relação as duas Resoluções.

Poluente	Classificação	Emissão (kg/t v.f.)	
		CONAMA 382/2006	CONAMA 436/2011
Material	Receita soda-cal	0,4	0,4
	Receita borosilicato	0,8	0,8
	Particulado	Receita chumbo e outras	0,5
NOx	Vidro Incolor ^(a)		
	Doméstico	4,5	4,5
	Plano	4,3	4,3
	Embalagem	3,2	3,2
	Especiais técnicos	4,5	4,5
	Vidro colorido ^(b)		
	Doméstico	7,5	7,5
	Plano	6,7	6,7
	Embalagem	5,4	5,4
	Especiais técnicos	6,7	
SOx	Gás natural	1,4	1,4
	Óleo combustíve	5	5
^(a) Para CONAMA 436/2011, não inclui vidros incolores com receitas que contém nitratos em concentrações iguais ou superiores a 1%			
^(b) Para CONAMA 436/2011, inclui vidros incolores com receitas que contém nitratos em concentrações iguais ou superiores a 1%			

Figura 179: Limites de emissão de poluentes atmosféricos provenientes do processo de fabricação de vidros das Resoluções Nº 382/2006 e Nº 436/2011

Fonte: Elaboração própria a partir de MMA (2006) e MMA (2011a).

¹¹¹ No Estado de São Paulo, onde se concentra 66% da capacidade de produção de vidros (AKERMAN, 2014), foi publicado um GUIA DE MELHOR TECNOLOGIA PRÁTICA DISPONÍVEL (MTPD). Este documento insere o setor de vidros. O documento é resultado do Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias (PREFE), definido através do Decreto Estadual 59.113/2013 O PREFE delinea o recorte geográfico e os empreendimentos que deverão observar procedimentos específicos no que se refere às emissões atmosféricas (CETESB, 2017)

Também, em 2011 é incorporado ao texto de vidro as regras de emissão vigentes durante a manutenção dos fornos de fusão dos vidros e também o cálculo das emissões para o caso de uso concomitante de gás e óleo combustível nos fornos de fusão de vidro.

4.5.6 GERAÇÃO DE CALOR

A seguir, são apresentados os limites de emissões da Resolução N° 436/2011 para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração a calor a partir da combustão externa de óleo combustível, combustão externa de gás natural, combustão de biomassa de cana-de-açúcar e combustão externa de derivados de madeira. A mesma separa os limites de emissão de material particulado, NO_x e SO_x, conforme a calor utilizada e de acordo com a potência térmica nominal da queima. Os limites especificados nesta Resolução estão discriminados a seguir:

Potência térmica nominal (MW)	MP ⁽¹⁾	NO _x ⁽¹⁾ (como NO ₂)	SO _x ⁽¹⁾ (como SO ₂)
MW < 10	300	1600	2700
10 ≤ MW ≤ 70	250	1000	2700
MW > 70	100	1000	1800

⁽¹⁾ os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca a 3% de oxigênio.

Figura 180: Limites de emissão de poluentes atmosféricos provenientes do processo de geração de calor a partir da combustão externa de óleo combustível de acordo com as Resoluções N° 382/2006 e N° 436/2011

Fonte: MMA (2011a).

Potência térmica nominal (MW)	NO _x ⁽¹⁾ (como NO ₂)
MW < 10	NA ⁽²⁾
10 ≤ MW ≤ 70	400
MW > 70	320

(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca a 3% de oxigênio.
(2) Não aplicável.

Figura 181: Limites de emissão de poluentes atmosféricos provenientes do processo de geração de calor a partir da combustão externa de gás natural de acordo com a Resolução N° 436/2011

Fonte: MMA (2011a).

Potência térmica nominal (MW)	MP ⁽¹⁾	NO _x ⁽¹⁾ (como NO ₂)
MW < 50	520	NA
50 ≤ MW ≤ 100	450	350
MW > 100	390	350
(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm ³ , em base seca a 8% de oxigênio. NA - Não aplicável.		

Figura 182: Limites de emissão de poluentes atmosféricos provenientes do processo de geração de calor a partir da combustão de biomassa de cana-de-açúcar de acordo com as Resoluções N° 382/2006 e N° 436/2011

Fonte: MMA(2011a).

Potência térmica nominal (MW)	MP ⁽¹⁾	NO _x ⁽¹⁾ (como NO ₂)
MW < 10	730	NA
10 ≤ MW ≤ 50	520	650
MW > 50	300	650
(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm ³ , em base seca a 8% de oxigênio. NA - Não aplicável.		

Figura 183: Limites de emissão de poluentes atmosféricos provenientes do processo de geração de calor a partir da combustão externa de derivados de madeira de acordo com a Resolução N° 436/2011

Fonte: MMA (2011a).

As Resoluções N° 386/2006 e N° 439/2011 se diferem em relação à data de instalação das plantas. A Resolução de 2011 incorpora as fontes já existentes antes de 2007, já que a Resolução anterior não levava em consideração estas plantas. Neste caso, o prazo para entrar em conformidade foi de 5 anos a partir da data de publicação da mesma, exceto para os sistemas de geração a gás natural, que o prazo foi de 7 anos.

Para os limites de emissão, a Resolução N° 439/2011 segue os mesmos estabelecidos pela de N° 386/2006 para o caso de fonte de calor de óleo combustível e para biomassa da cana-de-açúcar.

Já para a geração de calor a partir de gás natural e de derivados de madeira, os limites especificados em 2011 não seguem os mesmos estabelecidos em 2006. No caso do gás natural, o limite na Resolução de 2006 para potências inferiores a 70 MW era de 320 mg/Nm³ e para potências superiores ou iguais a 70 MW de 200 mg/Nm³, em base seca a 3% de oxigênio.

No caso do processo de calor a partir de derivados de madeira, a Resolução N° 386/2006 se difere da Resolução N° 436/2011 para os limites de material particulados em sistemas com

potência maior que 10 MW. Para a Resolução de 2006 o limite de emissão em sistemas com potência entre 10 MW e 30 MW é de 520 mg/Nm³, para sistemas entre 30 e 70 MW, de 260 mg/Nm³ e para sistemas com potência maior que 70 MW de 130 mg/Nm³, calculados em base seca a 3% de oxigênio.

Para sistemas de até 10 MW a regularidade do monitoramento pode ser determinada pelo órgão licenciador ambiental, sendo que este pode ainda aceitar a avaliação periódica apenas de monóxido de carbono, sendo que neste caso, o limite máximo de emissão deste poluente será de 80 mg/Nm³ em base seca com 3% de oxigênio nas gerações a partir de gás natural e óleo combustível. Já para a geração a partir de biomassa de cana-de-açúcar e derivados de madeira, os limites estabelecidos são conforme a seguir:

Potência térmica nominal (MW)	CO ⁽¹⁾
MW ≤ 0,05	6500
0,05 < MW ≤ 0,15	3250
0,15 < MW ≤ 1,0	1700
1,0 < MW ≤ 10	1300

(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca a 8% de oxigênio.

Figura 184: Limites de emissão de monóxido de carbono provenientes do processo de geração de calor a partir da combustão de biomassa para potência térmica máxima de 10 MW de acordo com as Resoluções Nº 382/2006 e Nº 436/2011

Fonte: MMA (2011a).

Potência térmica nominal (MW)	CO ⁽¹⁾
MW < 0,5	7800
0,5 < MW ≤ 2	3900
2 < MW ≤ 10	3250

⁽¹⁾ os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca a 8% de oxigênio.

Figura 185: Limites de emissão de monóxido de carbono provenientes do processo de geração de calor a partir da combustão externa de derivados de madeira para potência térmica máxima de 10 MW de acordo com as Resoluções Nº 382/2006 e Nº 436/2011

Fonte: MMA (2011a).

Também, a Resolução de 2011 não é válida para fontes de combustão a óleo e gás localizadas além do mar territorial brasileiro, enquanto a Resolução anterior considera: “deverá ser realizado somente o controle de eficiência de queima de combustível, obedecido o limite de emissão de 80 mg/Nm³ de monóxido de carbono (CO), independente da potência ou do combustível utilizado.” (MMA, 2006). Além disso, a Resolução define para todos os tipos de fontes de geração que (MMA, 2011a):

“Na ocorrência de duas ou mais fontes cujo lançamento final seja efetuado em duto ou chaminé comum, as medições devem ser feitas individualmente. Quando houver impossibilidade de realização de medições individuais, de acordo com a metodologia normatizada ou equivalente aceita pelo órgão ambiental licenciador, estas poderão ser efetuadas no duto ou chaminé comum e os limites máximos de emissão devem ser ponderados individualmente com as respectivas potências térmicas nominais das fontes em questão para o cálculo do novo limite de emissão resultante”.

4.6 SÍNTESE DAS POLÍTICAS PARA O SETOR INDUSTRIAL

Visando à sistematização das principais análises das políticas e dos instrumentos avaliados e seus respectivos impactos sobre o setor industrial brasileiro, o Quadro 6 apresenta um resumo destas informações descrevendo a política, seus objetivos e os instrumentos utilizados. Enfatiza-se que serão considerados apenas os resultados relativos às políticas ambientais, de uso racional de recursos, de estímulos setoriais e tributárias, bem como seus respectivos instrumentos.

Quadro 6: Síntese das políticas e seus respectivos instrumentos para o setor industrial

Política	Objetivos	Instrumentos
Políticas para o Clima (ênfase em GEE)	Reduzir as emissões de GEE visando a atender os compromissos da PNMC e, mais recentemente, da NDC brasileira. Necessidade de se discutir metas e financiamento para o alcance das políticas e planos	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
		Fundo Nacional sobre Mudança do Clima
		Política Nacional sobre Mudança do Clima
		Plano Indústria
		Plano Siderurgia
		NDC brasileira
Políticas de Estímulos Setoriais	Promover o crescimento de um determinado sub-setor industrial específico, por meio de programas de financiamento do BNDES, das compras governamentais, das Políticas de Conteúdo Local e da Lei Kandir, por exemplo. Diferencia-se da	Políticas de Apoio a PD&I e Financiamento à Indústria
		Investimentos Públicos

Política	Objetivos	Instrumentos
	Política de Uso Racional dos Recursos, pois apresentam efeitos de primeira ordem, ao invés de impactos mais transversais	Política de Conteúdo Local
		Estímulos ao Setor de Papel e Celulose
Política Tributária	Direcionar o comportamento dos agentes econômicos ao consumo/produção de bens/serviços menos carbono-intensivos, a partir de medidas tributárias	Tributos para Mitigação da Mudança do Clima
		Lei Kandir
Política de Uso Racional dos Recursos	Estimular políticas de uso racional dos recursos no país, com foco no setor industrial, a partir dos incentivos aos programas governamentais, aos investimentos em P&D para eficiência energética e aos programas de financiamento do BNDES	Programas Governamentais
		Investimento em P&D para Eficiência Energética
		Programas de Financiamento do BNDES
Política Ambiental com Ênfase em Controle das Emissões Atmosféricas	Objetiva controlar as emissões de poluentes atmosféricos de fontes fixas e com abrangência de impacto local (NOx, SOx, MP)	Padrão de emissões de poluentes

Fonte: Elaboração própria.

5 FORMAÇÃO DE PREÇOS

Nesta seção é realizada uma discussão acerca da capacidade dos setores em formar preços e repassar custos, indicando possíveis vulnerabilidades a um eventual instrumento de precificação de carbono. Além disso, apresenta-se um quadro síntese considerando diferentes taxas de carbono, emissões e indicadores possibilitando uma análise transversal, na concepção de custo-efetividade, dos setores industriais selecionados do estudo.

5.1 PAPEL E CELULOSE

O Brasil, atualmente, é um dos principais produtores mundiais de celulose, ocupando o segundo lugar em volume exportado de celulose e o primeiro lugar na exportação de celulose do tipo branqueada sulfato/kraft. Seu grande diferencial consiste na utilização do eucalipto em sua produção de fibra curta, o qual possui um tempo mais curto para o corte (sete anos) e elevada produtividade (36 m³/ha/ano para eucalipto e 31 m³/ha/ano para pinus) (IBÁ e LEITE, 2005). No caso da fibra longa, a produtividade das florestas brasileiras também se distingue consideravelmente da dos outros países: 15 anos para primeiro corte e rendimento de 38 m³/ha/ano (Sperotto, 2014). A Figura 186 apresenta os custos de produção de celulose de fibra curta no Brasil e no mundo. A partir dela pode-se observar que os custos de produção de celulose de fibra curta do país estão entre os menores do mundo.

A estrutura de custos é composta pelos custos da madeira, produtos químicos, energia, mão de obra, manutenção, frete e outros. Segundo Fibria (2012), os produtores globais e nacionais são impactados por:

- custo da madeira, devido ao custo da terra,
- custo de produtos químicos e energia, dado que a demanda global por commodities aumenta a pressão por materiais básicos,
- frete, devido ao baixo investimento em infraestrutura (portos, estradas, etc) e aos altos preços dos combustíveis, e
- custo da mão de obra.

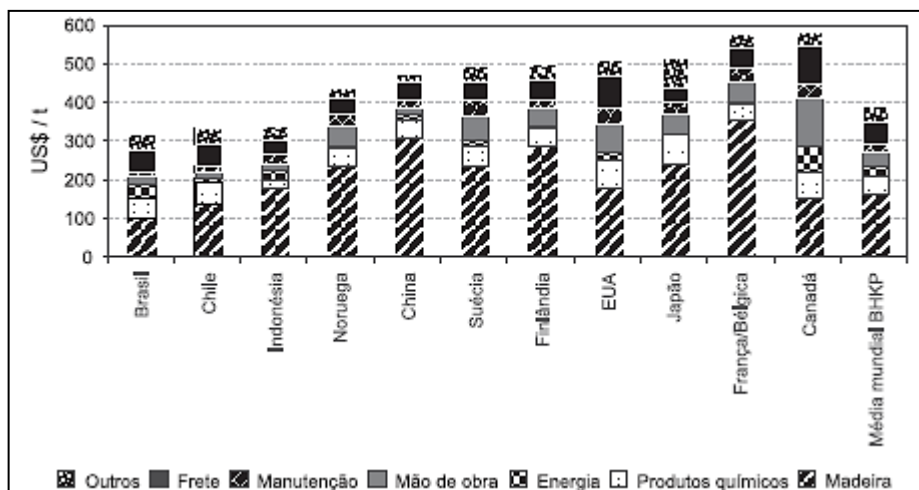


Figura 186: Custos de produção de celulose de fibra no Brasil e no mundo

Fonte: BNDES (2010).

Apesar da posição de destaque, no que concerne à produção de celulose, segundo Bacha e Montebello (2007), o Brasil é um tomador de preço no mercado internacional, devido à pequena dimensão da sua produção e exportação em relação ao volume comercializado mundialmente. De acordo com BNDES (2010), os preços do mercado internacional de celulose possuem um caráter cíclico, sendo sensíveis às alterações de capacidade da indústria, aos estoques dos produtores (Figura 187), ao valor do dólar norte-americano, aos custos de produção e frete, e, sobretudo, às oscilações da atividade econômica mundial. Além disso, outro aspecto que chama a atenção é o fato de os preços, tanto da celulose de fibra longa quanto da celulose de fibra curta, variarem mais ou menos à mesma taxa, o que reflete o ajuste fino de preços dos dois produtos no mercado internacional e reduz oportunidades de arbitragem. Sendo assim, empresas com custos de produção superiores (inferiores) trabalham com margens inferiores (superiores), e são as primeiras (últimas) a sofrerem paralisações em ciclos de baixa no preço da commodity.

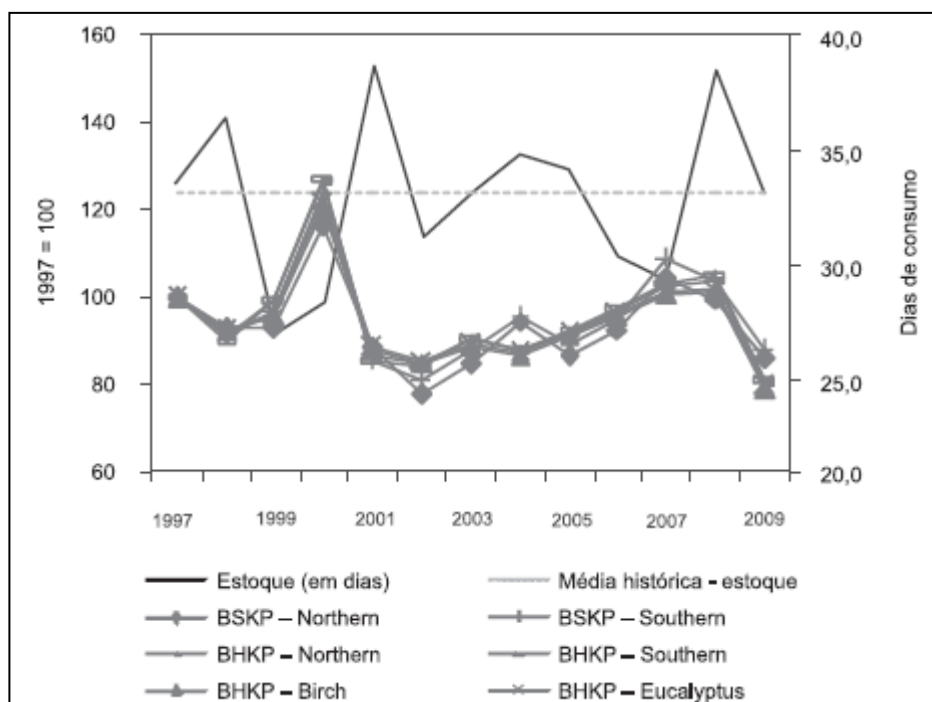


Figura 187: Variação dos preços¹¹² da celulose¹¹³ x estoques mundiais em dias de consumo

Fonte: BNDES (2010).

No que diz respeito ao preço do papel, os mesmos são determinados pelas condições de oferta e demanda nos mercados regionais onde são comercializados, embora com comportamento mais estável do que o dos preços de celulose. Além disso, eles sofrem flutuações em decorrência direta de diversos fatores, dentre eles as flutuações nos preços de celulose e de características específicas dos mercados (Suzano, 2016).

Em relação à absorção a uma eventual precificação de carbono pelo setor de papel e celulose, dado que o setor possui uma produção concentrada, bem como custos abaixo dos competidores internacionais e remoções associadas, acredita-se que ele possuirá uma capacidade de se manter competitivo mesmo com preços moderados de carbono, ainda que seus concorrentes não precificassem. Futuras etapas do projeto, responsáveis por análises econômicas dos impactos de uma eventual precificação de carbono, chegarão a conclusões mais precisas e quantitativas.

¹¹² Preços deflacionados apurados semanalmente em vendas reais, antes de quaisquer descontos e com condições de entrega CIF (porto europeu), havendo uniformidade de requisitos como umidade ao ar de 90%, alvura de 88% ou superior e resistência padrão.

¹¹³ BSKP: Bleached softwood kraft pulp; BHKP: Bleached hardwood kraft pulp.

5.2 QUÍMICA

A indústria química possui uma característica diferente das demais atividades industriais, já que possui uma grande interdependência em termos de matérias-primas (ABIQUIM, 2010). A demanda de insumos químicos básicos é altamente dependente de várias gerações de produtos intermediários da própria indústria que são necessários para a produção de seus produtos finais. Estes, por sua vez, dependem do consumo industrial e do consumo final, sendo, portanto, altamente elásticos ao crescimento do PIB (KUPFER et al., 2006).

Além disso, outra característica relevante desta indústria é sua heterogeneidade. A indústria química inclui inúmeros produtos inseridos em diferentes categorias (ABIQUIM, 2016). Assim, a avaliação do mercado e do impacto de uma possível precificação de carbono em cada uma das áreas desta indústria exigiria um nível de detalhamento que necessita de informações detalhadas de cada um dos subsetores e produtos. Cada produto e cada segmento têm sua particularidade de mercado e competitividade nacional ou internacional. Assim, diante deste contexto, serão apresentados alguns aspectos gerais da competitividade deste ramo industrial, com foco em alguns segmentos com particularidades relevantes.

Dos segmentos apresentados na Figura 143, pode-se dizer que, de forma geral, a indústria química apresenta baixos coeficientes diretos de EOB, chegando a 8% no setor de *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros*, um dos mais baixos da indústria de transformação analisada. O valor baixo deste indicador, que pode ser interpretado como uma aproximação da margem de lucro do setor, aponta para uma situação onde haveria uma dificuldade de absorção de custos relacionados à introdução de uma eventual precificação de carbono (ABIQUIM, 2010). Esta indústria vê como fundamental o acesso a matérias-primas em volumes, prazos de fornecimento e preços competitivos (CNI, 2010).

O único setor da indústria química que apresentou alta margem foi o de Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos, com um coeficiente direto de EOB no valor de 32%, mostrando que é um setor com maior capacidade de absorção de custo de carbono. O setor de produtos farmacêuticos é voltado para pequenos consumidores finais, como famílias (Figura 46). Pode-se dizer que possui uma baixa elasticidade preço-demanda do ponto de vista do consumidor individual.

Os medicamentos em geral são indicados pelos médicos, que não são os responsáveis pelo desembolso, reduzindo um efeito de substituição que poderia ocorrer na escolha do fármaco (VARGAS, 2009). Além disso, possui um alto grau concentração, em grande parte decorrente do poder de monopólio de patente, permitindo um repasse de custos ao consumidor final.

Contudo, vale ressaltar o papel dos genéricos atualmente (regulamentado a partir de 1999). Apesar de ainda ser um mercado pequeno, apresentou um forte crescimento nos últimos anos¹¹⁴. Os preços aplicados neste segmento são entre 35% de 60% menores (PROGENERICOS, 2017), sendo um mercado condizente com a renda de boa parte da população brasileira (VARGAS, 2009). A entrada dos genéricos retira o poder de monopólio de patente das grandes indústrias farmacêuticas, diminuindo seu poder de mercado (CNI, 2010). O principal instrumento da indústria para a apropriação de resultados oriundos de seus esforços de P&D é a patente, ao garantir um monopólio temporário de vendas, que não acontece com os genéricos (VARGAS, 2009).

Apesar de ser um mercado voltado para os pequenos consumidores, outra força vem sendo aplicada para tentar diminuir as margens aplicadas neste segmento. Grandes instituições, como o Estado, hospitais e clínicas, vêm fazendo pressão para uma flexibilização dos preços deste mercado a partir de um determinado poder de compra que possuem, visto que a venda para grandes corporações está associada a grandes volumes. Para o governo é interessante que a população tenha acesso a medicamento de mais baixo custo, o que desonera, em última instância, seus gastos com saúde pública. Também, os planos de saúde, como já visto nos EUA, podem ser importantes na determinação de preços competitivos, já que estão interessados em diminuir os preços dos medicamentos visando a redução de custos de cobertura. Esses fatores também enfraquecem o poder de determinação de preços dos oligopólios farmacêuticos. (VARGAS, 2009).

No caso da indústria petroquímica, sua competitividade pode ser relacionada a dois principais fatores exógenos: a disponibilidade e o preço das matérias-primas e o alto custo fixo de investimento (CNI, 2010). Por ser uma indústria altamente capital-intensiva, a petroquímica foi configurada ao longo dos anos em torno da integração vertical e horizontal, que garante, entre outras vantagens, a possibilidade de atuação com características de monopólio e com economias de escopo, com grande presença de empresas transacionais. Sua dinâmica está relacionada aos ciclos de preços internacionais, que, por sua vez, são determinados pelos preços das matérias-primas e pelo balanço entre a capacidade instalada e a demanda (BAIN&COMPANY, 2014).

O mercado de petroquímicos básicos e de segunda geração é altamente dependente dos preços de petróleo. As resinas como PE, PP e PVC¹¹⁵ são commodities vendidas no mercado global e seus preços variam de acordo com fatores macroeconômicos globais. A rentabilidade das companhias fabricantes destas matérias-primas é estabelecida de acordo com o *spread* (Figura 188), onde o custo da matéria-prima para a produção depende em grande parte do preço da nafta, insumo precificado a partir do

¹¹⁴ Apenas 33% dos medicamentos prescritos no Brasil são genéricos, e estes representam 31% das vendas. Desde 2001 até 2016 estimou-se um crescimento de venda de genéricos de mais de 300% (PROGENERICOS, 2017).

¹¹⁵ Polietileno, polipropileno e policloreto de vinila.

preço do barril de petróleo. Assim, este mercado oscila de momentos com margem muito estreita e margem alta, por conta dos preços do petróleo (BRASKEM, 2016).

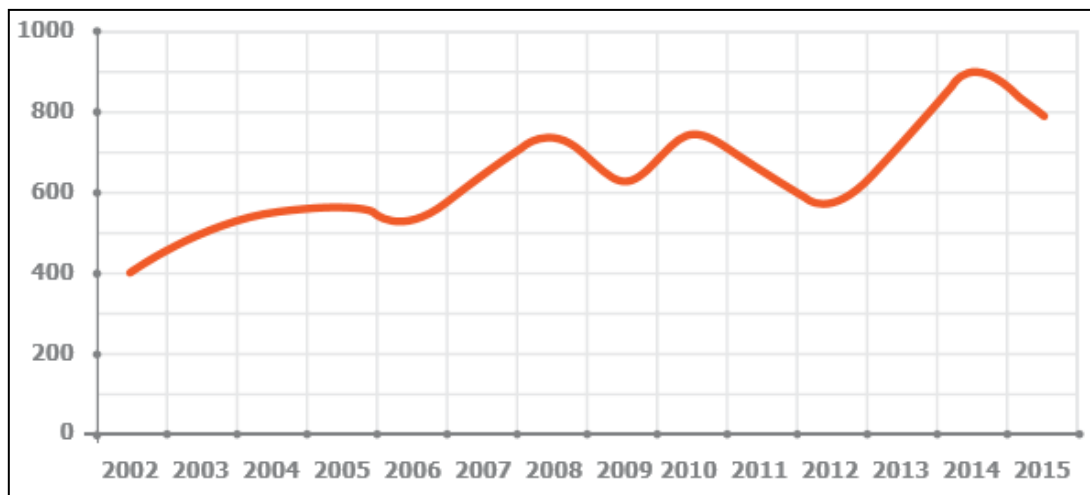


Figura 188: Spread de resinas petroquímicas (US\$/t)

Fonte: BRASKEM (2016).

Grande parte da produção brasileira petroquímica depende do uso de nafta, que chega a 69% da matéria-prima utilizada; o uso de gás natural só responde por 31%. A Braskem concentra o mercado brasileiro petroquímico e de resinas termoplásticas, o que aumenta seu poder de barganha com a Petrobras, acionista da Braskem e principal fornecedora de nafta. Para assegurar a continuidade das suas operações e manter seus custos sob controle, menos dependentes das volatilidades dos preços internacionais, a Braskem dispõe de contratos para suas matérias-primas estratégicas, tendo sido firmado, no ano de 2015, um contrato de 10 anos de fornecimento de nafta a preços controlados¹¹⁶.

Além disso, a Braskem possui posição relevante no mercado internacional, com plantas espalhadas em outros três países. Essa configuração permite que a empresa tenha flexibilidade de produção. Em 2016, quando a demanda brasileira foi reduzida, as vendas externas contribuíram para a alta de lucro da empresa, que buscou ao longo do ano mais oportunidades no mercado externo (BRASKEM, 2016).

¹¹⁶ Segundo Braskem (2016): “Nos últimos dias de 2015, a Braskem conseguiu encerrar um longo impasse com a Petrobras em torno do fornecimento de nafta, matéria-prima para a produção de resinas termoplásticas. A negociação, que se prolongava por mais de dois anos, e que exigiu aditivos contratuais para viabilizar a continuidade das operações petroquímicas, chegou ao fim com a assinatura de um novo contrato com prazo de cinco anos para fornecimento de um volume de sete milhões de toneladas anuais de nafta a um preço de 102,1% da referência internacional ARA8 (Termo utilizado no caso dos valores praticados nos mercados de Amsterdã, Roterdã e Antuérpia)”.

A indústria química, como um todo, é uma indústria historicamente deficitária, conforme pode ser observado na Figura 62. É possível observar que o consumo aparente nacional vem apresentando queda nos últimos anos. Assim, pode-se dizer que o Brasil se torna cada vez mais dependente do mercado internacional, seja para a venda de produtos que não estão sendo absorvidos aqui, seja para a importação, fazendo-se assim vulnerável à situação macroeconômica mundial (BRASKEM, 2016).

No cenário internacional, as cotações do barril de petróleo e, conseqüentemente, da nafta petroquímica e do gás natural, apresentam expressivo reflexo no preço internacional de diversos produtos químicos, interligados entre si a partir de matérias-primas básicas atreladas ao petróleo (CNI, 2010).

Além das resinas, outros produtos, como aromáticos (benzeno, tolueno e xilenos), também utilizam como matéria-prima nafta e gás natural. Tais produtos, por sua vez, são transformados em uma ampla gama de plásticos, borrachas sintéticas (elastômeros), solventes e outros produtos petroquímicos. Assim, estes também sofrem influência das variações de preços destes insumos (CNI, 2010). Em relação ao segmento da indústria química inorgânica, o cloro é a mais importante das commodities, segundo KUPFER et al. (2006), e seu preço também é fortemente afetado pelo preço do gás natural.

Já o segmento de fertilizantes, além de relacionado a variações de preço de gás natural, está relacionado às variações de preço e da demanda de commodities agrícolas internacionais. No caso de fertilizantes nitrogenados, a principal matéria-prima utilizada é o gás natural. Cerca de metade do atendimento do consumo nacional é importado, e varia de acordo com uma cesta de produtos atrelado ao petróleo. Além disso, os preços de gás natural praticados no Brasil são significativamente maiores que os praticados no EUA (KUPFER et al., 2006).

Vale ressaltar, também, que as variações de câmbio também causam impactos na competitividade da indústria química nacional, que é dependente de importação de produtos básicos (Figura 62), e tem seus investimentos baseados em moeda estrangeira. O faturamento da indústria química, que apresenta crescimento estável na moeda brasileira, sofre fortes oscilações ao se considerar seu faturamento em dólar, conforme mostrado na Figura 49.

5.3 CIMENTO, CAL E VIDRO

Em relação ao setor cimento, cal e vidro, cada qual apresenta uma formação de mercado e de preço bem diferenciados. De forma geral, pode-se dizer que são segmentos intermediários, com grande parte de sua produção sendo destinada a outros segmentos industriais. Os segmentos de cal e cimento têm forte relação com a indústria de construção civil, enquanto o subsetor vidreiro relacionado à indústria automobilística, à construção civil e ao segmento de alimentos e bebidas. Além disso, como um todo, o segmento Cimento, cal e vidro tem baixa margem (Figura 143), dificultando a absorção de um possível custo de carbono.

O setor de cimento brasileiro opera com margens de lucro baixas, tendo grande dificuldade em repassar custos. Além disso, o grau de concentração de mercado do setor não é muito elevado, tornando a

propagação de novos custos para o consumidor mais dispersa, com o custo marginal de todos os produtores aumentando.

Apesar de não apresentar competição internacional, os efeitos da baixa margem combinados com a baixa concentração de empresas resultam em grandes barreiras no setor para a incorporação de novos custos de produção, estando este, portanto, altamente exposto ao efeito de eventual precificação de carbono. Além disso, ele é suscetível à competição intersetorial por outros materiais de construção e de infraestrutura (aço, vidro, asfalto, etc.).

Em relação ao setor cimento, cal e vidro, cada qual apresenta uma formação de mercado e de preço bem diferenciados. De forma geral, pode-se dizer que são segmentos intermediários, com grande parte de sua produção sendo destinada a outros segmentos industriais. Os segmentos de cal e cimento têm forte relação com a indústria de construção civil, enquanto o setor vidreiro é dependente da indústria automobilística. Além disso, como um todo, o segmento cimento, cal e vidro tem baixa margem (Figura143), dificultando a absorção de um possível custo de carbono.

No setor de Cal, a formação de preços pode variar bastante, dependendo da aplicação da cal. Pode-se considerar um setor pouco suscetível à competição externa, visto que seu consumo aparente acompanha o nível de produção; ou seja, a cal produzida no Brasil é quase integralmente absorvida pelo mercado interno, sem necessidade de importação.

Outra característica deste setor é a sua heterogeneidade de empresas produtoras, com comportamentos altamente distintos. Segundo a JMendo (2009), os pequenos e grandes produtores de cal têm um comportamento competitivo distinto dentro do mercado nacional. As grandes empresas, muitas vezes multinacionais com grande capital de giro, têm maior capacidade de absorver as oscilações de mercado e investir em novas tecnologias e oportunidades, enquanto as pequenas empresas dependem intensamente da intervenção do governo para garantir sua competitividade. Um exemplo é o alto uso de lenha e de resíduos de madeira identificados pela CNI (2010). Por ser um segmento energo-intensivo, as pequenas empresas não conseguem arcar com os altos preços de gás natural e de óleo combustível como fonte de energia. Para que haja investimentos em fontes mais limpas seriam necessárias políticas específicas com este fim.

O setor de vidro é um setor que apresenta um alto grau de concentração, sendo observada uma presença forte de empresas multinacionais no mercado produtor de vidro brasileiro. Com a entrada de novos *players* nos últimos anos na indústria de vidro plano e a venda das atividades de vidro oco do Grupo Saint-Gobain, as características de oligopólio do setor foram amenizadas, mesmo que ainda prevaleça uma relevante concentração de mercado.

O mercado vidreiro já apresentou balança comercial favorável no passado, entretanto, em anos recentes, este tem perdido competitividade internacional por conta de forte entrada da China neste mercado e também devido aos altos preços do gás natural no Brasil. O segmento de vidro no país emprega em seus fornos principalmente gás natural (95%). Assim, os preços deste têm um grande

impacto nos custos do setor. Estima-se que os gastos com gás natural e energia elétrica correspondam a cerca de 25% do custo final de produção, podendo chegar a 35% (CNQ, 2015).

5.4 FERRO E AÇO

O setor siderúrgico é altamente suscetível à competição externa. Assim, caso os valores dos produtos nacionais subam, os mesmos seriam substituídos por importados. Nos últimos anos, o aumento das importações de aço, combinado com a redução da demanda interna, acarretaram em um impacto com consequências severas, aumentando consideravelmente a capacidade ociosa do país.

Em contrapartida, a boa qualidade do minério de ferro brasileiro pode ser considerada como uma vantagem competitiva do país num mercado em que a competição internacional é extremamente relevante. Este fator, combinado com uma indústria siderúrgica com patamares de emissões inferiores à média mundial, faz com que a siderurgia nacional possa ocupar um lugar de destaque no cenário internacional¹¹⁷.

Entretanto, o país enfrenta assimetrias competitivas no mercado internacional, resultando em dificuldades da indústria nacional para concorrer com o aço importado. Segundo o IAB, a exportação seria uma opção para melhorar o grau de utilização de capacidade instalada. Hoje, com uma ociosidade de aproximadamente 60% devido à retração do mercado interno brasileiro, o setor siderúrgico convive com excedentes de capacidade internacional que ultrapassam 700 milhões de toneladas, tendo como consequência práticas desleais de comércio e preços depreciados.

A indústria de aço solicita ao Governo Federal a retorno do Reintegra, um programa de compensação de tributos não-recuperáveis, que permitiria ao Brasil competir com outras nações exportadoras.

No que diz respeito à absorção de um instrumento de precificação de carbono, de acordo com o indicador EOB (Figura 143) a siderurgia possui uma margem de lucro que varia da mais alta entre os setores selecionados à uma das mais baixas. Este fato pode dificultar tal absorção de uma possível precificação. Além disso, a competição internacional associada a um produto razoavelmente homogêneo é outro fator que dificultaria tal absorção. Porém, a alta concentração do setor facilita, em parte, que os custos sejam repassados aos consumidores nacionais.

¹¹⁷ Faz-se importante ressaltar que o fato de o aço brasileiro ter menor emissão não significa que será de fato um diferencial de mercado. Por exemplo, caso o aço chinês, que tem maior fator de emissão de GEE por tonelada, não receba as mesmas regras de precificação, este se manterá mais competitivo do ponto de vista de mercado.

5.5 ALUMÍNIO

De acordo com Valentim (2011), as grandes empresas produtoras de alumínio primário formam o preço de suas ligas com base na Bolsa de Mercadorias de Londres (LME) de acordo com a fórmula “LME+prêmio”, uma vez que o alumínio importado incorre em custos adicionais como o frete marítimo, seguro, tarifas portuárias, e tributação, que se transformam em um prêmio para o produtor interno. Este prêmio não é idêntico para todas as empresas. Além disso, as empresas recicladoras de alumínio seguem os preços estabelecidos pelas grandes empresas, mantendo os preços de suas ligas abaixo dos determinados. Os valores dos contratos são negociados de acordo com cada empresa e consumidor (CARDOSO, 2011).

A Figura 189 apresenta os preços mensais “spot” publicados pela LME, de 2012 a 2017. A partir dela pode-se verificar que a maior queda no preço do alumínio ocorreu no ano de 2015, devido, em grande parte, à desaceleração chinesa e à valorização do dólar neste período.

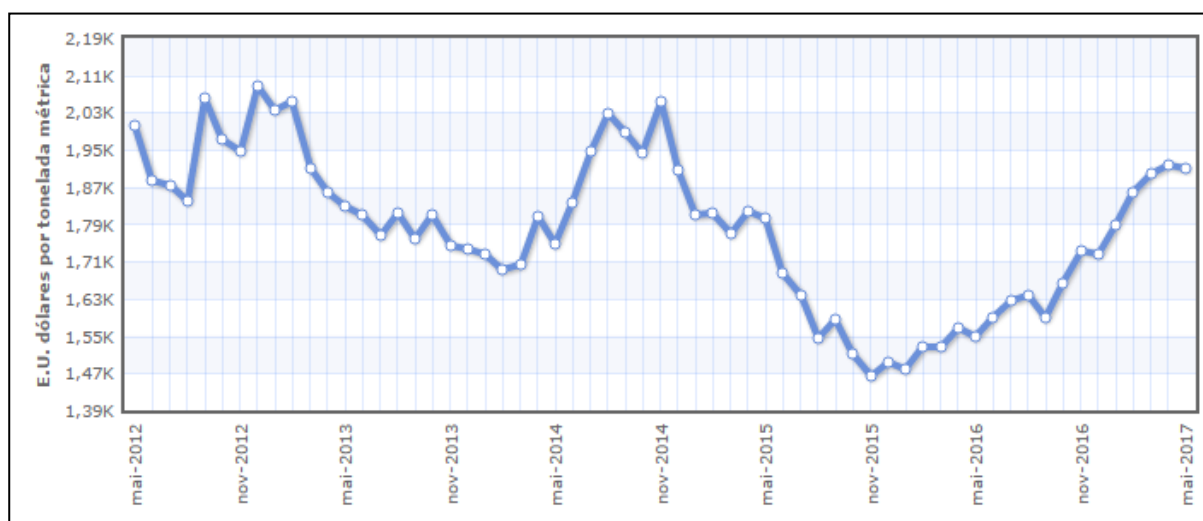


Figura 189: Preços mensais do alumínio publicados pela LME

Fonte: Index Mundi (2017).

Em relação ao mercado brasileiro de alumínio, também no ano de 2015, o país diminuiu a produção de alumínio primário e passou a ser importador da matéria-prima pela queda da produção local, devido, principalmente, aos altos custos da energia elétrica, a qual, como mencionado anteriormente, pode representar até 60% dos custos de produção. No ano de 2016, a produção de alumínio primário apresentou um ligeiro aumento da mesma forma que as exportações de metal, que puderam se concretizar em função da queda de consumo no mercado interno.

Em 2017, a produção do metal se manteve estável e as exportações apresentaram uma retração significativa, graças ao aumento do consumo nacional – aumento de 5,3% sobre o ano de 2016 (ABAL,

2017).Recentemente a ABAL e o MDIC - Ministério da Indústria Comércio Exterior e Serviços, por meio da Secretaria de Desenvolvimento e Competitividade Industrial, estabeleceram um acordo de cooperação técnica para o Projeto Rota Estratégica da Cadeia Brasileira do Alumínio 2030. O objetivo do projeto é conduzir o setor em um processo de criação de conhecimento em relação a mudanças e tendências da economia, da tecnologia e da sociedade que ocorrem em âmbito global, nacional e local, de forma a antecipar o impacto dessas mudanças e tendências para a cadeia do alumínio no Brasil (Brasil Mineral, 2017).

No que concerne à absorção de taxas de carbono, de acordo com a Figura 143, este subsetor possui uma margem de lucro abaixo de 20%, a qual dificulta tal absorção. Sendo assim, ele é propenso a repassar esta taxa, o que levaria a uma perda de competição internacional. Acrescenta-se a isso o fato de que o subsetor enfrenta concorrência internacional significativa. Ademais, o subsetor de alumínio possui baixa concentração, o que também dificulta o repasse das taxas para seus consumidores. Sendo assim, na ausência de mecanismos de reciclagem focados na proteção do subsetor de Alumínio, este poderia enfrentar dificuldades para absorver altos custos de carbono.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma análise dos setores aqui considerados indica que há uma ampla diferença no nível de exposição a um mecanismo de precificação de carbono. Em especial, buscou-se avaliar em que medida o setor está exposto ao comércio internacional, qual a margem para repasse de custos ao consumidor e em que grau um custo afundado de carbono (ou seja, sem qualquer mecanismo de ajuste ou reciclagem da precificação) pode impactar os setores estudados.

O efeito de um mecanismo de precificação de carbono, entretanto, irá depender de sua configuração. As diferentes modalidades de instrumento de carbono podem prejudicar ou beneficiar os diferentes setores em maior ou menor grau. Portanto, a continuidade do trabalho, através do Produto 4, se dará no sentido de realizar um detalhamento das atividades de elaboração de recomendações para o desenvolvimento de cenários de instrumentos de precificação de emissões, isolados ou combinados, e eventuais ajustes nos instrumentos de política setorial existentes no Brasil. Para tal, a primeira etapa do produto seguinte terá como objetivo:

- Avaliar o impacto dos objetivos das políticas existentes sobre a competitividade dos segmentos industriais analisados, sobre o poder de compra do consumidor final e sobre as emissões nacionais de GEE, segundo os diferentes instrumentos das políticas
- Avaliar o efeito de políticas de precificação de carbono sobre os objetivos das políticas já existentes;
- Identificar as interações entre instrumentos de precificação de carbono e de políticas públicas para subsetores da Indústria, conforme diagnóstico elaborado em etapa anterior deste projeto;
- Propor medidas corretivas e/ou de compatibilização de instrumentos entre políticas existentes e instrumentos de precificação de carbono.

As etapas expostas acima, por fim, devem subsidiar o objetivo último do projeto, qual seja, detalhar as atividades de elaboração e fazer recomendações para o desenvolvimento de arranjos de instrumentos de precificação de emissões, isolados ou combinados, e eventuais ajustes nos instrumentos de política setorial existentes no Brasil. Para tal, duas análises principais serão realizadas. Na primeira, deve-se avaliar os quadros e arranjos institucionais para instrumentos de precificação de carbono no Brasil com foco em mecanismos de tributação e mercados de carbono, a partir de um viés econômico, passando pela compreensão dos papéis das diferentes instituições envolvidas, bem como pelo quadro legal e regulamentar no Brasil. Já na segunda, a partir das análises e discussões sobre os possíveis arranjos institucionais realizadas anteriormente, diferentes propostas de precificação de carbono para cada setor analisado devem ser propostas e comparadas. Esses desenvolvimentos encerram o primeiro componente do projeto PMR, no que diz respeito à análise do setor industrial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2011. *Referências para a política industrial do setor de petróleo e gás: o caso da Noruega*. ABDI, PAIIPME, Brasília, 58 p.
- ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química, 2016. *O desempenho da indústria química brasileira em 2016*. Associação Brasileira da Indústria Química. São Paulo, 2016.
- ABIVIDRO – Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro, 2016. *Notícias – Logística Reversa é desafio em regiões distantes dos grandes centros*. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/noticias/logistica-reversa-e-desafio-em-regioes-distantes-dos-grandes-centros>>. Acesso: 24 mai. 2017.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001. *NBR ISO 14040 – Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura*. ABNT/CB-38 - Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental. Rio de Janeiro.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2016. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015*. São Paulo.
- ALMEIDA, R. F., 2015. Política de Conteúdo Local e setor para-petroleiro: uma análise comparativa entre Brasil e Noruega. *Dissertação PPE/COPPE/UFRJ*, Rio de Janeiro.
- ALVARENGA, G. V.; PIANTO, D. M.; ARAÚJO, B. C., 2012. Impactos dos fundos setoriais nas empresas: novas perspectivas a partir da função dose-resposta. Prêmio CNI de Economia. Categoria: Inovação e Produtividade.
- AMARAL, G.; OLENIKE, J., 2003. *Radiografia da Tributação no Brasil*. Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário - IPBT.
- ANAP – Associação Nacional dos Aparistas de Papel, 2016. *Relatório Estatístico Anual 2015-2016*. São Paulo.
- ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2013. *Edital de Licitações para outorga dos contratos de concessão para atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural*. 11ª Rodada de Licitações. 11 de março de 2013.
- ARAÚJO, B. C., 2012. Políticas de apoio à inovação no Brasil: uma análise de sua evolução recente. Texto para Discussão nº 1759. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Brasília, DF.
- AUERBACH, A. J.; HOLTZ-EAKIN, D., 2016. *The role of border adjustments in international taxation*. Executive Summary. Econometrics Laboratory – University of California, Berkeley. Dez.
- BANCO MUNDIAL, 2010. *Brazil Low-Carbon Country Study – case study*. Washington, DC.
- _____, 2011. *Organização do Mercado Local de Carbono – Sistema Brasileiro de Controle de Carbono e Instrumentos Financeiros Relacionados*.
- BECKER, A. A., 1998. *Teoria Geral do Direito Tributário*. 3ª ed. São Paulo: Lejus, p. 589.
- BENEVIDES, M. V., 1964. *Um golpe de classe?* (Sobre um livro de Rene Dreifuss). Lua Nova, n. 58, CEDEC, Centro de Estudos de Cultura Contemporânea, 2003, São Paulo.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2002. *50 anos: Histórias setoriais*. Rio de Janeiro.
- _____, 2009. *Apoio à Construção Civil*. Rio de Janeiro.

- _____, 2013. *BNDES Setorial – Vidros Planos*. Rio de Janeiro.
- _____, 2015. *Relatório de Efetividade 2007-2014: a contribuição do BNDES para o desenvolvimento nacional*. Rio de Janeiro.
- _____, 2016. *Panoramas Setoriais: mudanças climáticas*. Rio de Janeiro.
- _____, 2017. *Relatório de Sustentabilidade 2010*. Portal BNDES. Financiamentos. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>>. Acesso em: 30 jul. 2017.
- _____, 2017b. *Desembolsos do BNDES por setor CNAE*. Portal BNDES. Central de Downloads. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>>. Acesso em: 07set. 2017.
- _____, 2017c. *Guia do Financiamento: Formas de Apoio*. Portal BNDES. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>>. Acesso em: 05 out. 2017. BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel, 2011.
- BRASIL, 1966. *Código Tributário Nacional: Lei 5.172/66*. Consolidada até a Lei Complementar nº 104, de 10 de janeiro de 2001, Brasília.
- _____, 1988. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília.
- _____, 1993a. *Lei Nº 8.723, de 28 de outubro de 1993 – Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências*. Brasília.
- _____, 1993b. *Lei Nº 8.666, de 21 de junho de 1993 – Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências*. Brasília.
- _____, 1996. *Lei Complementar Nº 87, de 13 de setembro de 1996 – Dispõe sobre o imposto dos Estados e do Distrito Federal sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação, e dá outras providências (Lei Kandir)*. Brasília.
- _____, 1997. *Lei Nº 9433, de 8 de janeiro de 1997 – Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989*. Brasília.
- _____, 2000. *Lei Complementar Nº 101, de 4 de maio de 2000 – Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências*. Brasília.
- _____, 2001. *Lei Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 – Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências*. Brasília.
- _____, 2009a. *Lei Nº. 12.114, de 9 de dezembro de 2009 – Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, altera os arts. 6º e 50 da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e dá outras providências*. Brasília.
- _____, 2009b. *Lei Nº. 12.187, de 29 de dezembro de 2009 – Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e dá outras providências*. Brasília.
- _____, 2010a. *Lei Nº 12.305/10, de 2 de agosto de 2010 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Brasília.
- _____, 2010b. *Decreto Nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010*. Brasília.
- _____, 2011. *Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas*. Ministério de Minas e Energia. Brasília.

_____, 2013. *Decreto Nº 7.633, de 1 de dezembro de 2013, Casa Civil*, Brasília.

_____, 2014. *11º Balanço PAC 2 – A gente faz um Brasil de oportunidade*. Ministério do Planejamento.

_____, 2015a. *Fundamentos para a elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) do Brasil no contexto do Acordo de Paris sob a UNFCCC*. Brasília.

_____, 2015b. *Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Brasília.

BRASIL, MCTI, 2016. *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2019 (ENCTI)*.

CAMARA, 2016. *Notícias: MP reduz benefícios fiscais do Regime Especial da Indústria Química*. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/ECONOMIA/504654-MP-REDUZ-BENEFICIOS-FISCAIS-DO-REGIME-ESPECIAL-DA-INDUSTRIA-QUIMICA.html>>. Acesso em: 21 mai. 2017

CAMEX – Secretaria-Executiva da Câmara de Comércio Exterior, 2014a. *Resolução Nº 121, de 18 de dezembro de 2014*. Brasília

_____, 2014b. *Resolução Nº 46, de 03 de julho de 2014*. Brasília

_____, 2016. *Resolução Nº 82, de 27 de setembro de 2016*. Brasília

_____, 2017. *Resolução Nº 05, de 16 de fevereiro de 2017*. Brasília

CAVALCANTI, M. C. B., 2006. *Análise dos tributos incidentes sobre os combustíveis automotivos no Brasil. Dissertação PPE/COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro.

_____, 2011. *Tributação relativa etanol-gasolina no Brasil: competitividade dos combustíveis, arrecadação do estado e internalização de custos de carbono. Tese PPE/COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, 2017. *Oportunidades e desafios da NDC brasileira para o setor empresarial brasileiro – Setor Industrial*. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro.

_____, 2016. *Consumo eficiente de energia elétrica: uma agenda para o Brasil*. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro.

_____, 2015. *Gerenciamento de riscos hídricos no Brasil e o setor empresarial: desafios e oportunidades*. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro.

CEMPRE, 2016. *Artigos e publicações, vidro*. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

CETESB, 2017. *Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias – PREFE*. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/plano-de-reducao-de-emissao-de-fontes-estacionarias-prefe/>. Acesso em: 30 mai. 2017.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. *Em parceria com a Embaixada Britânica no Brasil, CGEE realiza análise do setor; roadmap com visão ampla da indústria será traçado*. Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: <http://www.cgEE.org.br/noticias/viewBoletim.php?in_news=807&boletim>. Acesso em: 20 mai. 2017.

_____, 2015. *Modernização da produção de carvão vegetal: subsídios para revisão do Plano Siderurgia*. Brasília.

CNI – Confederação Nacional da Indústria, 2012. *Política de Conteúdo Local na cadeia de petróleo e gás: uma visão sobre evolução do instrumento e a percepção das 125 empresas investidoras e produtoras de bens*. CNI, Brasília.

_____, 2015. *Projeto Sudeste Competitivo - Sumário Executivo*. Brasília: Confederação Nacional da Indústria.

CNQ – Comissão Nacional de Segurança Química, 2015a. *Panorama Setor de Vidro*. Confederação Nacional do Ramo Químico, 2015.

_____, 2015b. *A Indústria Petroquímica e de Fertilizantes*, 2015.

COSTA, J. G., 1971. *Planejamento governamental a experiência brasileira*. Rio de Janeiro, FGV.

DIEESE – Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Econômicos, 2013. *Estudo Setorial da Construção Civil*.

ELETROBRAS, 2014. *Relatório de Resultados do Procel 2014 – ano base 2013*. Rio de Janeiro.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2010a. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2019*. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia.

_____, 2010b. *Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019)*. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia.

_____, 2016. *O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia*. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia.

EXAME, 2012. Nadir Figueiredo recebe R\$ 29,2 milhões do BNDES. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/negocios/nadir-figueiredo-recebe-r-29-2-milhoes-do-bndes-m0058582/>>. Acesso em 30 jul. 2017

FANKHAUSER, S.; HEPBURN, C.; PARK, J., 2010. Combining Multiple Climate Policy Instruments: how not to do it. Centre for Climate Change Economics and Policy. *Working Paper No. 48*.

FARINHA E SILVA, C. A.; BUENO, J. M.; NEVES, M. R., 2017. A indústria de celulose e papel no Brasil. *Guia ABCPT – Fornecedores e Fabricantes – Celulose & Papel 2016/2017*.

FERNANDEZ, E.; MUSSO, B., 2011. Oportunidades e Desafios da Agenda de Competitividade para Construção de uma Política Industrial na Área de Petróleo: propostas para um Novo Ciclo de Desenvolvimento Industrial. *Anais do XXIII Fórum Nacional Visão de Brasil Desenvolvido para participar da competição do Século (China, Índia e Brasil)*.

FERRAZ, J. C.; ALÉM, A. C.; MADEIRA, R. F., 2013. A contribuição dos bancos de desenvolvimento para o financiamento de longo prazo. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, BNDES, n. 40, p. 5-42.

FIEB – Federação das Indústrias do Estado da Bahia, 2015. A política brasileira de conteúdo local para o setor petróleo e gás: análises e sugestões de aperfeiçoamento. Jan, 2015.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2017. *Mudança do clima: avaliação dos reflexos das metas de redução de emissões sobre a economia e a indústria brasileira*. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, São Paulo: FIESP;

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, 2017. Apoio e Financiamento: Programas e Linhas - Programa Innova. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/programas-inova/o-que-e-o-programa-inova>>. Acesso em: 26 mai. 2017.

FLANERY, B. P., 2016. Carbon taxes, trade, and border tax adjustments. *Policy Brief – Resources For the Future*. Apr-2016. No. 16-02.

FOSS, M. C.; BONACELLI, M. B. M., 2016. Compras públicas como instrumento de política de estímulo à demanda por inovação: primeiras considerações sobre o sistema paulista de inovação. *XVII Seminário de Economia Industrial (SEI) e I Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação (ENEI)*, São Paulo: Araraquara. Vol. 3, pp.303-322.

FANKHAUSER, S.; HEPBURN, C.; PARK, J., 2010. Combining Multiple Climate Policy Instruments: how not to do it. *Centre for Climate Change Economics and Policy*. Working Paper No. 48.

FURTADO, C., 2007. *Formação Econômica do Brasil*. Edição 34, São Paulo: Saraiva. 352 p.

GIAMBIAGI, F.; ALÉM, A., 2000. *Finanças Públicas: Teoria e Prática no Brasil*. Editora Campos, 2ª edição, Rio de Janeiro.

GOUVELLO, C.; FINON, D.; GUIGON, P., 2016. *Reconciling Carbon Pricing and Energy Policies in Developing Countries*. ESMPA/PMR Report – Draft. December.

GURGEL, A. C., PALTSEV, S., 2013, Cost of reducing GHG emissions in Brazil. *Climate Policy*. 14:2, pp. 209-223.

GVCES, 2013a. *Requerimento para um Sistema Nacional de Monitoramento, Relato e Verificação de Emissões de Gases de Efeito Estufa*. Elementos para um Mercado de Carbono no Brasil. GVces-FGV/SP, São Paulo.

_____, 2013b. *Política Fiscal Verde no Brasil*. GVces-FGV/SP, São Paulo.

HADDAD, E. A.; DOMINGUES, E. P., 2001. EFES – Um Modelo Aplicado de Equilíbrio Geral para a Economia Brasileira: Projeções Setoriais para 1999-2004. *Estudos Econômicos*, v. 31, n. 1, pp. 89-125.

HASSELKNIPPE, H., 2003. Systems for carbon trading: an overview. *Climate Policy*, 3: 43–57.

HERDE, L. C., 1992. *Subsídios Para a Definição de Diretrizes de Plano Estratégico Para o Setor Florestal do Brasil*. Semam-PR/IBAMA. Brasília: Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República/1992. 21 p.

HUFBAUER, G. C.; LU, Z. L., 2017. Border tax adjustments: assessing risks and rewards. *Policy Brief 17-3 – Peterson Institute for International Economics*. Jan-2017. PIIE.

IBP-UFRJ – Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis e Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016. Custos e benefícios da atual política de conteúdo local. Texto para discussão – Ciclo de debates sobre petróleo e economia. Out, 2016.

ICAP – INTERNATIONAL CARBON ACTION PARTNERSHIP, 2016. *Emissions Trading Worldwide: Status Report 2016*. Berlin: ICAP.

INESC – Instituto Nacional de Estudos Socioeconômicos, 2015. *Amazônia: paraíso extrativista e tributário das transnacionais da mineração*. Investimentos e Direitos na Amazônia. Disponível em: <<http://amazonia.inesc.org.br/artigos/amazonia-paraíso-extrativista-e-tributario-das-transnacionais-da-mineracao/>> Acesso em: 25 mai. 2017.

INSTITUTO ESCOLHAS, 2015. *Impactos Econômicos e Sociais da Tributação de Carbono no Brasil*. São Paulo.

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2014. *A Política Tributária Brasileira e sua “Pegada” Climática: por uma transição rumo à sustentabilidade*. Dezembro, Brasília.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2000. Proposta de tributação ambiental na atual Reforma Tributária brasileira. *Texto para Discussão 738*. IPEA: Rio de Janeiro.

_____, 2010a. Políticas anticíclicas na indústria automobilística: Uma análise de cointegração dos impactos da redução do IPI sobre as vendas de veículos. *Texto para Discussão 1512*. Rio de Janeiro.

_____, 2010b. Compras governamentais: análise de aspectos da demanda pública por equipamentos de telecomunicações. *Radar/IPEA*, Nº10. Rio de Janeiro.

_____. 2010c. Perspectivas de Desenvolvimento do Setor Petróleo e Gás no Brasil. *Comunicados do IPEA*. n. 55.

JOAQUIM, F. R., 2008. Plano de Metas e as consequências na industrialização brasileira. *Monografia apresentada para conclusão do Curso de Graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Santa Catarina*.

JUNQUEIRA, M. O., 2015. O nó da Reforma Tributária no Brasil (1995-2008). *Revista Brasileira de Ciências Sociais*. Vol. 30, nº 89.

JURAS, I. A. G. M.; ARAÚJO, S. M. V. G., 2003. *Considerações sobre a Reforma Tributária e Meio Ambiente*. Consultoria Legislativa. Câmara dos Deputados: Brasília.

KNIGHT, E. R. W., 2011. The economic geography of European carbon market trading. *Journal of Economic Geography*, 11, pp. 817-841.

KUDLAVICZ, M., 2011. Dinâmica agrária e a territorialização do complexo celulose/papel na microrregião de Três Lagoas/MS. *Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação – Mestrado em Geografia/CPTL/UFMS*.

KUME, H.; PIANI, G., 1997. O ICMS sobre as exportações brasileiras: uma estimativa da perda fiscal e do impacto sobre as vendas externas. *Texto para Discussão/IPEA*, n. 465. Rio de Janeiro: IPEA.

KUNTZE, J-C; MOERENHOUT, T, 2013. Local Content Requirements and the Renewable Energy industry - A Good Match? *International Centre for Trade and Sustainable Development*, Geneva, Switzerland.

LA ROVERE, E. L.; WILLS, W.; PEREIRA JR, A. O.; DUBEUX, C. B. S; CUNHA, S. H. F.; OLIVEIRA, B. C. P.; MOREIRA, M.M.R.; WATANABE, S; LOUREIRO, S. M.; MOREIRA, L.S.S.C.; GROTERA, C.; HARFUCH, L.; WEISS, M.; SANTOS, L. A. S.; CARVALHO, P.T.; KISHINAMI, R.; ZVEIBIL, V.; SANTOS, L.; KIMURA, W.; SANTOS, T.; TONI, A.; BACHION, L. C.; LIMA, R.; ZAMBIANCO, W.; NASSAR, A.; WALTER, M. K. C; MARCONDES, S.; ELY, R. N.; LEFREVE, J.; OLIVEIRA, L. D. B.; e ZICARELLI, I., 2016. *Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil*, Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

LEITÃO, A.; IRFFI, G.; LINHARES, F., 2012. Avaliação dos efeitos da Lei Kandir sobre a arrecadação de ICMS no estado do Ceará. *Planejamento e Políticas Públicas (PPP)*. Nº 39, jul./dez.

LEITE, A. D., 2013. *Eficiência e desperdício da energia no Brasil*. Elsevier Editora. Rio de Janeiro.

LIRA, S. R. B., 2003. A questão tributária e a problemática da arrecadação fiscal em decorrência da mineração industrial na Amazônia. *Novos Cadernos NAEA*, v. 6, n. 1, p. 27-64.

MAGALHÃES, R., GUEDES, H., VASCONCELLOS, W., 2011. *Conteúdo Local aplicado ao Setor de Óleo e Gás no Brasil*. ONIP.

MARGULIS, S., DUBEUX, C. B. S., 2010. *Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades*. São Paulo: IBEP, 82 p.

MELO, E., 2013. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. *Estudos Avançados* 27 (77).

MCKINSEY & COMPANY, 2009. *Caminhos para uma Economia de Baixa Emissão de Carbono no Brasil*.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016a. *3ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas – Volume II*. Brasil, Governo Federal, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília.

_____, 2016b. Cenários Integrados de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa para o Brasil até 2050 – Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0240/240525.pdf>. Acessado em: 18 abr. 2017.

_____, 2017. *Contribuição do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações para a elaboração da estratégia de implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris*. Brasil, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED, Coordenação Geral do Clima – CGCL, Brasília.

_____, 2017b. *SIRENE – Sistema de Registro Nacional de Emissões. Emissões de dióxido de carbono por setor*, Brasília.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2013. *Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação*. Brasil, Governo Federal, Brasília.

MDIC, 2017. *Sistema AliceWeb*. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <<http://aliceweb.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 27 mai. 2017

MENEZES FILHO, N.; KOMATSU, B.; LUCCHESI, A.; FERRARIO, M., 2014. Políticas de Inovação no Brasil. Policy Paper Nº 11. Insper Instituto de Ensino e Pesquisa. Centro de Políticas Públicas (CPP).

MELLO, M. T. L., 2010. Inovação, atividade inovativa e P&D na legislação: uma análise comparativa dos conceitos legais e suas implicações. Bases conceituais em pesquisa, desenvolvimento e inovação: Implicações para políticas no Brasil. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE).

MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2006. *Resolução Nº. de 26 de dezembro de 2006*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>> . Acesso em: 29 mai. 2017.

_____, 2008. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima*. Brasil, Governo Federal, Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, Brasília.

_____, 2011a. *Resolução Nº. 436, de 22 de dezembro de 2011*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

_____, 2011b. *Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. Relatório 2011*. Brasília, dez-2011.

_____, 2013. *Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. Relatório 2013*. Brasília, dez-2013.

_____, 2014. *Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. Relatório 2014*. Brasília, dez-2014.

_____, 2014b. *Plano setorial de redução de emissões da siderurgia*.

_____, 2017. Fontes Fixas. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/fontes-fixas>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

MME – Ministério de Minas e Energia, 2011. *Plano Nacional de Mineração 2030 - Geologia, Mineração e Transformação Mineral*. Brasília.

_____, 2017. *Anuário estatístico do setor de transformação de não-metálicos, 2012 – 2016: Cal*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao>>

[mineral/publicacoes/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>](#). Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2017.

MONTEBELLO, A. E. S.; BACHA, C. J. C., 2013. Análise do processo de configuração desigual do setor de celulose e papel no Brasil. *PESQUISA & DEBATE*, SP, volume 23, número 2 (44) pp. 267-294.

MOREIRA, M.; VARGAS, E., 2009. O papel das compras governamentais na indução de inovações. *Contabilidade, Gestão e Governança*, vol. 12, n. 2, p. 35-43.

MUSGRAVE, R.; MUSGRAVE, P., 1980. *Finanças Públicas: Teoria e Prática*. Editora Campos, tradução: Braga, N.

OLIVEIRA, J. M. D. de, 2002. Proteção Ambiental e Sistema Tributário – Brasil e Japão: Problemas em Comum? In: MARINS, J. *Tributação e Meio Ambiente*. Curitiba: Juruá. p. 107.

PERTHUIS, C.; TROTIGNON, R., 2014. Governance of CO₂ markets: Lessons from the EU ETS. *Energy Policy*, 75, 100–106.

PIMENTA, C. L., 2016. Análise comparativa de custo de empreendimento de baixa renda entre os métodos construtivos em alvenaria estrutural e parede de concreto moldado *in loco*. TCC EE/UFGM. Minas Gerais.

PMR – Partnership for Market Readiness, 2015. *Brazil MRP Implementation Status Report (ISR)*. Brasília: Ministério da Fazenda.

POSSENTI, C; PONTILI, R. E., 2015. Influências do PAC no setor da construção civil, no período de 2007 a 2012. *Conferência Internacional em Gestão de Negócios 2015*. Cascavel, PR.

RAAD, T. J.; MELO, V.F., 2014. *Fortalecimento da competitividade do gusa por florestas plantadas*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 28 p.

RATHMANN, R., 2012. Impactos da adoção de metas de redução de emissão de gases de efeito estufa sobre a competitividade de setores industriais energointensivos do Brasil. *Tese PPE/COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro.

RAUEN, C. V., 2016. O Novo marco legal da inovação no Brasil: o que muda na relação ICT-empresa? IPEA - Boletim Radar: tecnologia, produção e comércio exterior Nº 43.

REGO, M., 2016. *Milton Rego: desafios da indústria do alumínio*. Entrevista à Revista Mineração, por Thobias Almeida. Disponível em: <<http://revistamineracao.com.br/2016/06/01/milton-rego-desafios-da-industria-do-aluminio/>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

ROCHEDO, P.; COSTA, I. V. L.; IMPÉRIO, M.; BETTINA, S. H.; MERSCHMANN, P. R. C.; OLIVEIRA, C. N.; SZKLO, A. SCHAEFFER, R., 2016. Carbon capture potential and costs in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. V. 131, p. 280-295.

SANTANA, L. V., 1999. Avaliação de Políticas Públicas setoriais: o fator retroalimentador na demanda de políticas econômicas pelo setor florestal no Brasil. O complexo papel-celulose. *Tese Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná*.

SANTOS, L. C., 2008. Análise do Plano de Metas de JK com enfoque no planejamento estratégico. *Monografia de Pós-Graduação em Gestão Pública apresentada à Universidade Cândido Mendes*.

SANTOS, L. 2014. Otimização do valor de produção no Brasil com restrições de emissão de gases de efeito estufa, a partir de uma análise insumo-produto. *Dissertação PPE/COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro.

SANTOS, R. Q.; SOARES, N. S.; SOUSA, E. P., 2016. Determinantes da oferta de exportação de papel no Brasil. *Revista de Estudos Sociais*. Ano 2016 N.36 V.18.

- SCAFF, F. F.; TUPIASSU, L. V. C., 2005. Tributação e Políticas Públicas: O ICMS Ecológico. *Revista de Direito Ambiental*. São Paulo, ano 10, nº 38, abr-jun, p. 106- 107.
- SENADO, 2017. Senado Notícias: Senado aprova elevação de taxa de juros do BNDES para empréstimos de longo prazo Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2017/09/05/senado-aprova-elevacao-de-taxa-de-juros-do-bndes-para-emprestimos-de-longo-prazo>>. Acesso em 07 sep 2017
- SEROA DA MOTTA, R., 2011. A política nacional sobre mudança do clima: aspectos regulatórios e de governança. In: SEROA DA MOTTA et al. (Eds.) *Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*, IPEA, Brasília.
- SHIMIZU, J. Y.; DOMINGUES, E. P., 2015. *Projeção de Impactos Computáveis do Programa Minha Casa Minha Vida: Uma Abordagem de Equilíbrio Geral Computável*. ANPEC. Belo Horizonte.
- SILVA, J. O., 2009. *O perfil da Cal*. Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodenal (2010 – 2030) de geologia, mineração e transformação mineral. Ministério de Minas e Energia, Banco Mundial e J.Mendo Consultoria.
- SILVA, P. R. S. T., 2007. Padrão de financiamento da indústria de papel e celulose no Brasil nos anos 1990. *Dissertação em Economia Política apresentada à banca examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo*.
- SILVESTRE, D.; RODRIGUEZ, M. E., 2007. *Eucalipto/ Aracruz Celulose e violação de direitos humanos*. Processo de Articulação e Diálogo – PAD.
- SIMÃO, N., 2001. A Reestruturação do Setor Petrolífero no Brasil: a questão da tributação. *Dissertação PPE/COPPE/UFRJ*, Rio de Janeiro.
- SINIR, 2015. *Acordo Setorial de Embalagens em Geral*. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos – SINIR, MMA. Brasília, Nov. de 2015. MMA.
- SINQUIFAR, 2015. Proposta de Ajuste Fiscal Atinge Indústria Química em momento de intensificação do cenário recessivo. Disponível em: <<http://www.sinquifar.com.br/pacote-de-ajuste-fiscal-atinge-industria-quimica-em-momento-de-intensificacao-do-cenario-recessivo>>. Acesso em: 27 mai. 2017.
- SITAWI, 2016. *Caminhos da responsabilidade socioambiental do BNDES: análise e propostas para evolução do desempenho socioambiental do banco*. Rio de Janeiro.
- SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2014. Relatório Anual 2013. 2014. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/pdf/RelatorioAnual2013final.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2017.
- SOTO, B. F. A., 1992. Da indústria do papel ao complexo florestal no Brasil: o caminho do corporativismo tradicional ao neocorporativismo. *Tese de Doutorado – UNICAMP*. Campinas.
- SOUTO, J. J. N., 2013. *Audiência pública sobre fertilizantes*. Comissão de Agricultura, Pecuária, Abastecimento e Desenvolvimento Rural, Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. Ministério de Minas e Energia. Brasília.
- TÁVORA, F. L., 2009. A PEC Nº233, de 2008, e a Reforma Tributária Ambiental: fragmentos de um debate necessário. *Centro de Estudos de Consultoria do Senado Federal. Textos para Discussão 56*. Brasília.
- TORDO, S.; TRACY, B.; ARFAA, N., 2011. *National Oil Companies and Value Creation - Volume 1*.
- VILLELA, A. V.; SUZIGAN, W., 1973. *Política do governo e crescimento da economia brasileira, 1889-1945*. Rio de Janeiro: Ipea/Inpes.

ZAHEYEN, A., 1986. Estrutura e desempenho do setor de papel e celulose no Brasil. *Dissertação de Mestrado em Economia - Universidade Federal do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro.

WILLS, W., 2013. Modelagem dos Efeitos de Longo Prazo de Políticas de Mitigação de Emissão de Gases de Efeito Estufa na Economia do Brasil. *Tese PPE/COPPE/UFRJ*, Rio de Janeiro.

WORLD BANK GROUP, 2016. *Emissions Trading in Practice: a handbook on design and implementation*. NW, Washington, DC.

WORLD STEEL ASSOCIATION., 2015. World Steel in Figures 2015..Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/2015/World-Steel-inFigures-2015/document/World%20Steel%20in%20Figures%202015.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

A. ANEXO A – METODOLOGIA

Este anexo apresenta a metodologia dos indicadores utilizados na caracterização do setor industrial e seus segmentos. O sistema insumo-produto integrado às Contas Nacionais dá origem às matrizes de Produção, que informa o que cada setor da economia produz de cada produto, e de Usos e Recursos, que fornece a quantidade de insumos que cada setor utiliza para realizar a sua produção. A combinação destas duas informações resulta na matriz insumo-produto (MIP, ou em inglês, *input-output* – IO), a qual decompõe os fluxos monetários entre as atividades econômicas e os fatores primários descrevendo a estrutura interna de cada setor produtivo e do conjunto da economia. Esta estrutura é frequentemente utilizada para analisar impactos sobre os setores de uma determinada economia. Os impactos podem ser calculados através de indicadores e multiplicadores econômicos, os quais permitem verificar, por exemplo, os efeitos de uma mudança na demanda final de um determinado setor sobre a produção total, renda ou o emprego (MILLER e BLAIR, 1984). Os indicadores utilizados na caracterização setorial são descritos nas próximas seções.

A.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SETORES

O setor Papel e Celulose, de acordo com o nível de detalhamento da nova série do Sistema de Contas Nacionais e da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), está enquadrado dentro das atividades 1700 - *Fabricação de celulose, papel e produtos de papel*, cujos produtos correspondem a 17001 – *Celulose* e 17002 - *Papel, papelão, embalagens e artefatos de papel*. Quanto aos dados da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS, oriundos do Cadastro Central de Empresas (IBGE, 2014), o setor Papel e Celulose está enquadrado dentro da atividade 1700 – *Fabricação de celulose, papel e produtos de papel*, cujos produtos correspondem a 17.1 – *Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel*, 17.2 – *Fabricação de papel, cartolina e papel-cartão*, 17.3 – *Fabricação de embalagens de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado* e 17.4 – *Fabricação de produtos diversos de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado*.

O setor Química, de acordo com o nível de detalhamento da nova série do Sistema de Contas Nacionais e da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), está enquadrado dentro das atividades: 2091 - *Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros*, cujos produtos correspondem a 20911 – *Produtos químicos inorgânicos*, 20912 - *Alubos e fertilizantes*, 20913 - *Produtos químicos orgânicos* e 20914 - *Resinas, elastômeros e fibras artificiais e sintéticas*; 2092 – *Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos*, cujos produtos correspondem a 20921 – *Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários*, 20922 - *Produtos químicos diversos* e 20923 – *Tintas, vernizes, esmaltes e lacas*; 2093 - *Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal*, cujo produto corresponde a 20931 - *Perfumaria, sabões e artigos de limpeza*; e 2100 - *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos*, cujo produto corresponde a 21001 - *Produtos farmacêuticos*.

Quanto aos dados da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS, oriundos do Cadastro Central de Empresas (IBGE, 2014), o setor *Química* está enquadrado dentro das atividades: 2000 – *Fabricação de produtos químicos*, cujos produtos correspondem a 20.1 – *Fabricação de produtos químicos inorgânicos*, 20.2 – *Fabricação de produtos químicos orgânicos*, 20.3 – *Fabricação de resinas e elastômeros*, 20.4 – *Fabricação de fibras artificiais e sintéticas*, 20.5 – *Fabricação de defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários*, 20.6 – *Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal*, 20.7 – *Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins* e 20.9 – *Fabricação de produtos e preparados químicos diversos*; e 2100 – *Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos*, cujos produtos correspondem a 21.1 – *Fabricação de produtos farmoquímicos* e 21.2 – *Fabricação de produtos farmacêuticos*.

O setor Cimento, o setor de Cal e o setor de Vidro, de acordo com o nível de detalhamento da nova série do Sistema de Contas Nacionais e da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), estão enquadrados dentro das atividades 0580 – *Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos* e 2300 – *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos*, cujos produtos correspondem a 23001 – *Cimento* e 23003 – *Vidros, cerâmicos e outros prod. de minerais não-metálicos* (não há um produto específico para caracterizar Cal). Quanto aos dados da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS, oriundos do Cadastro Central de Empresas (IBGE, 2014), o setor Cimento, o setor Cal e o setor Vidro estão enquadrados dentro da atividade 2300 – *Fabricação de produtos de minerais não-metálicos*, cujos produtos correspondem a 23.2 – *Fabricação de cimento* e 23.1 – *Fabricação de vidro e de produtos do vidro* (não há um produto específico para caracterizar Cal). Para determinados indicadores, foi necessário o agrupamento destas atividades formando o setor chamado de *Cimento, Cal e Vidro*.

O setor *Ferro e Aço*, de acordo com o nível de detalhamento da nova série do Sistema de Contas Nacionais e da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), está enquadrado dentro das atividades 0791 – *Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração*, cujo produto corresponde a 07911 – *Minério de ferro*, e 2491 – *Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura*, cujos produtos correspondem a 24911 – *Ferro-gusa e ferroligas* e 24912 – *Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço*. Quanto aos dados da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS, oriundos do Cadastro Central de Empresas (IBGE, 2014), o setor *Ferro e Aço* está enquadrado dentro das atividades 0700 – *Extração de minerais metálicos*, cujo produto corresponde a 07.1 – *Extração de minério de ferro*, e 2400 – *Metalurgia*, cujos produtos correspondem a 24.1 – *Produção de ferro-gusa e de ferroligas*, 24.2 – *Siderurgia*, 24.3 – *Produção de tubos de aço, exceto tubos sem costura*, 24.5 – *Fundição*.

O setor Alumínio, de acordo com o nível de detalhamento da nova série do Sistema de Contas Nacionais e da Matriz Insumo-Produto 2010 (IBGE, 2015), está enquadrado dentro das atividades 0792 – *Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos*, cujo produto corresponde a 07921 – *Minerais metálicos não-ferrosos*, e 2492 – *Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais*, cujos produtos correspondem a 24921 – *Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos e*

24922 – *Peças fundidas de aço e de metais não-ferrosos*. Quanto aos dados da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS, oriundos do Cadastro Central de Empresas (IBGE, 2014), o setor Alumínio está enquadrado dentro da atividade 0700 – *Extração de minerais metálicos*, cujo produto corresponde a 07.2 – *Extração de minerais não-ferrosos*, e 2400 – *Metalurgia*, cujo produto corresponde a 24.4 – *Metalurgia de metais não-ferrosos*. Neste sentido, neste documento assumiu-se que a classificação dos metais não-ferrosos seria equivalente ao setor de alumínio, na falta de informações primárias mais detalhadas.

A. 1. 1. ESTRUTURA SETORIAL DO VALOR DA PRODUÇÃO

A estrutura de distribuição do VBP setorial indica os setores mais relevantes em termos de valor da produção, possibilitado a análise específica da importância (em termos do valor da produção) dos setores- alvo do estudo em relação à produção total da economia. Os indicadores utilizados nesse estudo foram calculados pela participação do VBP dos segmentos/subsetores no VBP setorial, VBP da indústria da transformação, bem como no VBP total da economia. A fonte de dados é a Tabela 1 – Produção, pertencente a matriz de Recursos (IBGE).

$$\%VBP_j = \frac{VBP_j}{VBP}$$

em que $\%VBP_j$ é o indicador da estrutura setorial do valor da produção; VBP_j é o valor bruto da produção do segmento/setor j ; e VBP é o valor bruto da produção dos setores selecionados do estudo/indústria de transformação/total da economia.

A. 1. 2. ESTRUTURA SETORIAL DO VALOR DO VALOR ADICIONADO

A estrutura de distribuição do VA setorial indica os setores mais relevantes em termos de valor adicionado, possibilitado a análise específica da importância (em termos do valor adicionado) dos setores- alvo do estudo em relação à produção total da economia. Os indicadores utilizados nesse estudo foram calculados pela participação do VA dos segmentos/subsetores no VA setorial, VA da indústria da transformação, bem como no PIB total da economia. A fonte de dados é a Tabela 1 – Produção, pertencente a matriz de Recursos (IBGE).

$$\%VA_j = \frac{VA_j}{VA}$$

em que $\%VA_j$ é o indicador da estrutura setorial do valor adicionado; VA_j é o valor adicionado do segmento/setor j ; e VA é o valor adicionado dos setores selecionados do estudo/indústria de transformação/total da economia.

A. 1. 3. DISTRIBUIÇÃO DAS VENDAS POR PRODUTO

A estrutura de distribuição das vendas setoriais indica características importantes do produto, por exemplo, se a maior parte da produção é destinada à exportação ou ao consumo das famílias. É calculado a partir da razão entre o consumo intermediário e os componentes da demanda final (consumo das famílias, consumo do governo, exportações e formação bruta de capital fixo) e o valor total das vendas por produto (demanda total). A fonte de dados é matriz de usos de bens e serviços – Tabela 2.

$$DV_i = \frac{CD_i}{DT_i}$$

em que DV_i é a distribuição das vendas por produto i ; CD_i é o consumo intermediário, consumo das famílias, consumo do governo, exportações ou formação bruta de capital fixo do produto i ; e DT_i é a demanda total ou total das vendas do produto i .

A. 1. 4. COEFICIENTE DIRETO DO EXCEDENTE OPERACIONAL BRUTO

Representa os requisitos diretos em termos de EOB para produzir uma unidade monetária do setor, isto é, pode ser interpretado como uma aproximação da margem de lucro. EOB é o saldo do valor adicionado deduzido das remunerações pagas aos empregados, dos rendimentos dos autônomos e dos impostos líquidos de subsídios. É uma medida do excedente gerado pela produção antes da dedução de quaisquer encargos na forma de juros, rendas ou outros rendimentos de propriedade a pagar sobre ativos financeiros, terrenos ou outros ativos tangíveis. O coeficiente é calculado pela razão entre o EOB do setor e o VBP setorial. A fonte de dados é a Tabela 1 – Produção, pertencente a matriz de Recursos (IBGE).

$$CD_{EOB} = \frac{EOB_i}{VBP_i}$$

em que CD_{EOB} é o coeficiente direto do valor adicionado; EOB_i é o valor adicionado do segmento/setor i ; e VBP_i é o valor bruto da produção do segmento/setor i .

A. 2 INDICADORES DE GRAU DE CONCENTRAÇÃO (PODER DE MERCADO)

Os indicadores de grau de concentração utilizados foram o coeficiente de pessoal ocupado e o índice Razão de Concentração (CR). Devido a indisponibilidade de informações sobre produção ou VA ao nível da firma, foram utilizados dados de emprego (dados do IBGE e microdados da RAIS) como uma *proxy* do VA da firma. As análises de estrutura de mercado com base em indicadores de grau de concentração têm na especificação setorial (nível de agregação) uma decisão importante, pois implicam escolher o mercado relevante para a análise de concentração. Logo, não é adequado analisar

a estrutura de concentração de setores muito agregados, tais como indústria de minerais não-metálicos (que contém os setores Cimento, Cal e Vidro) e minerais não-ferrosos (que contém o setor Alumínio).

A. 2. 1. COEFICIENTE DE PESSOAL OCUPADO

O coeficiente de pessoal ocupado é utilizado para indicar a estrutura de determinado mercado. É calculado a partir da razão entre o pessoal ocupado do setor/segmento e o total de pessoal ocupado dos subsetores, dos setores selecionados do estudo e da indústria de transformação. A fonte de dados é a Tabela 2 – Empresas e outras organizações, pessoal ocupado total e assalariado em 31.12, pessoal assalariado médio, salários e outras remunerações e salário médio mensal, por sexo e escolaridade, segundo as seções, divisões e grupos da classificação de atividades (IBGE, 2014).

$$CPO_i = \frac{PO_i}{PO}$$

em que CPO_i é o coeficiente de pessoal ocupado do segmento/setor i ; PO_i é o pessoal ocupado do setor/segmento i ; e PO é o pessoal ocupado total do subsetor, dos setores selecionados do estudo e da indústria de transformação.

A. 2. 2. RAZÃO DE CONCENTRAÇÃO (CR)

O indicador de razão de concentração (CR) é utilizado para indicar a estrutura de determinado mercado. É calculado a partir da razão entre o número de pessoas ocupadas de determinada firma ou firmas (por exemplo, CR4: 4 maiores firmas) e o número de pessoas ocupadas do setor que ela pertence. A fonte de dados é a Tabela 6 – Empresas, pessoal ocupado total em 31.12 e indicadores de concentração econômica do pessoal ocupado total das maiores empresas na Indústria, Comércio e Serviços, segundo as seções, divisões e grupos da classificação de atividades (IBGE, 2014).

$$CR(X) = \frac{PO_x}{PO}$$

em que $CR(X)$ é o indicador de razão de concentração do X número de maiores firmas; PO_x é o pessoal ocupado das X maiores firmas; e PO é o pessoal ocupado total do setor.

A. 3 INDICADORES DE ENCADEAMENTO INTERSETORIAL E MULTIPLICADORES

Com o intuito de determinar a potencialidade da transmissão de impactos do custo carbono sobre subsetores da indústria, é relevante verificar se estes constituem-se setores-chave para a economia brasileira. Nesse sentido, o índice Rasmussen-Hirschman, indicador de encadeamento intersetorial, é utilizado a fim de se compreender as dependências, para trás e para frente, entre os setores, isto é, quanto da produção do setor é necessário para produzir uma unidade de demanda final de outro setor. Ademais, para se verificar o efeito da transmissão do custo-carbono sobre a demanda final e,

consequentemente, sobre as demais variáveis-chave da economia nacional, foram calculados os multiplicadores de produção, renda, emprego e tributário.

A. 3. 1. ÍNDICES DE RASMUSSEN-HIRSCHMAN: ÍNDICES DE LIGAÇÃO PARA TRÁS E PARA FRENTE

Mensurado a partir da matriz inversa de Leontief – Tabela 15 (matriz de requisitos diretos e indiretos). Os coeficientes dessa matriz indicam quanto da produção do setor é necessário para produzir uma unidade de demanda final de outro setor. Os índices são calculados da seguinte forma:

$$B = (I - A)^{-1} = (\alpha_{ij})$$

$$B^* = \sum_i \sum_j \frac{\alpha_{ij}}{n^2}$$

$$B_{\bullet j} = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij}$$

$$B_{i\bullet} = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}$$

em que α_{ij} são os elementos da matriz inversa de Leontief e n o número de setores.

- Índice de ligação para trás:

$$U_j = \frac{(B_{\bullet j} / n)}{B^*}$$

- Índice de ligação para frente:

$$U_i = \frac{(B_{i\bullet} / n)}{B^*}$$

A. 3. 2. MULTIPLICADORES

Multiplicadores são indicadores que resumem os impactos representados na matriz inversa de Leontief. No modelo fechado (multiplicador de tipo II - consumo das famílias é endógeno), é possível captar os efeitos diretos, indiretos e induzidos pelo consumo das famílias em determinada variável (renda, emprego, produção ou tributos) decorrentes de expansões na demanda final de insumos intermediários de determinado setor.

A partir do modelo básico de Leontief $X = (I - A)^{-1} \cdot Y$, pode-se mensurar o impacto que as mudanças ocorridas na demanda final (Y), ou em cada um de seus componentes, teriam sobre a produção total, o emprego e os salários de uma economia. Assim, tem-se:

$$\Delta X = (I - A)^{-1} \cdot \Delta Y$$

$$\Delta V = \hat{v} \cdot \Delta X$$

em que ΔY e ΔX são vetores (nx1) que mostram, respectivamente, a estratégia setorial e os impactos sobre o volume da produção; e ΔV , um vetor (nx1) que representa o impacto sobre qualquer uma das variáveis: emprego, salários, entre outros. O termo $\hat{v}$, por sua vez, é definido como uma matriz diagonal (n x n), cujos elementos da diagonal são obtidos dividindo-se a parcela correspondente a estas variáveis na produção total de determinado setor, representando os coeficientes diretos de emprego, salário e tributos.

A. 3. 2. 1. MULTIPLICADOR DE PRODUÇÃO

Indica o quanto se produz para cada unidade monetária gasta no consumo final, isto é, o valor da produção total da economia necessário para satisfazer R\$ 1 da demanda final pela produção de um setor. É calculado a partir do somatório dos elementos da matriz inversa para cada setor. A fonte de informação é a matriz inversa de Leontief – Tabela 15 (matriz de requisitos diretos e indiretos).

$$MP_j = B_{.j} = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij}$$

em que MP_j é o multiplicador de produção; α_{ij} são os elementos da matriz inversa de Leontief e n o número de setores.

A. 3. 2. 2. MULTIPLICADOR DE RENDA

Indica o quanto é gerado de renda para cada unidade monetária gasta no consumo final, isto é, o valor da renda das famílias (remuneração do fator trabalho) gerada na economia decorrente do aumento de R\$ 1 da renda (remuneração) de um setor. É calculado a partir da divisão do somatório dos elementos da matriz inversa multiplicados pelos coeficientes diretos de renda, divididos pelo coeficiente direto de renda do setor. A fonte de informação é a matriz inversa de Leontief – Tabela 15 (matriz de requisitos diretos e indiretos).

$$MR_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot cr_{ij}}{cr_i}$$

em que MR_i é o multiplicador de renda para o setor i ; b_{ij} são os elementos da matriz inversa de Leontief para o setor j ; cr_{ij} são os coeficientes diretos de renda correspondentes a cada setor i , oriundo de $\hat{v}$; e cr_i é o coeficiente direto de renda do setor i .

A. 3. 2. 3. MULTIPLICADOR DE EMPREGO

Indica os empregos gerados na economia decorrente do aumento de 1 nova ocupação de um setor. É calculado a partir da divisão do somatório dos elementos da matriz inversa multiplicados pelos

coeficientes diretos de emprego, divididos pelo coeficiente direto de emprego do setor. A fonte de informação é a matriz inversa de Leontief – Tabela 15 (matriz de requisitos diretos e indiretos).

$$ME_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot ce_{ij}}{ce_i}$$

em que ME_i é o multiplicador de emprego para o setor i ; b_{ij} são os elementos da matriz inversa de Leontief para o setor j ; ce_{ij} são os coeficientes diretos de emprego correspondentes a cada setor i , oriundo de $\hat{v}$; e ce_i é o coeficiente direto de emprego do setor i .

A. 3. 2. 4. MULTIPLICADOR TRIBUTÁRIO

Indica o quanto é gerado de tributos dado um aumento de uma unidade monetário nos tributos de um setor, isto é, as de receitas de impostos, líquidos de subsídios, sobre a produção e a importação geradas na economia decorrente do aumento de R\$ 1 nos tributos de um setor. É calculado a partir da divisão do somatório dos elementos da matriz inversa multiplicados pelos coeficientes diretos tributários, divididos pelo coeficiente direto tributário do setor. A fonte de informação é a matriz inversa de Leontief – Tabela 15 (matriz de requisitos diretos e indiretos).

$$MT_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot ct_{ij}}{ct_i}$$

em que MT_i é o multiplicador tributário para o setor i ; b_{ij} são os elementos da matriz inversa de Leontief para o setor j ; ct_{ij} são os coeficientes diretos tributários correspondentes a cada setor i , oriundo de $\hat{v}$; e ct_i é o coeficiente direto tributário do setor i .

A. 4 VULNERABILIDADE EXTERNA

Interessa ainda identificar, com intuito de verificar o impacto sobre a competitividade setorial, tanto a participação das exportações na produção quanto a vulnerabilidade ao comércio exterior dos diferentes subsectores industriais do estudo. Estas questões são analisadas com base no coeficiente de exportação e no coeficiente de penetração de importações setoriais. A tributação de carbono impõe risco adicional de vulnerabilidade devido à perda de mercado doméstico na paridade de importação ou perda de mercado para exportador na paridade da exportação. Um setor muito concentrado domesticamente pode ser contestado por sua vulnerabilidade externa (por exemplo, setor petroquímico nacional). Um setor com baixa vulnerabilidade externa, se concentrado, por sua vez, tem mais chance de impor preços maiores sem perda de mercado, desde que seu produto seja pouco elástico (elasticidade-preço da demanda). Isto é, a empresa pode impor um *mark-up* de preço, transferindo o custo carbono ao consumidor.

A. 4. 1. COEFICIENTE DE EXPORTAÇÕES

É o percentual da produção que é exportado, de modo que quanto maior o coeficiente de exportação, maior é a importância das vendas externas para o setor. É calculado pela razão entre as exportações por setor e o valor bruto da produção do setor. A fonte de informação é a Tabela 1 – Produção, pertencente a matriz de recursos de bens e serviços (IBGE), e a Tabela 2 – Exportações, pertencente a matriz de usos de bens e serviços (IBGE).

$$CX_i = \frac{EX_i}{VBP_i}$$

em que CX_i é o coeficiente de exportações; EX_i são as exportações do segmento/setor i ; e VBP_i é o valor bruto da produção do segmento/setor i .

A. 4. 2. COEFICIENTE DE PENETRAÇÃO DAS IMPORTAÇÕES

O coeficiente de penetração das importações é a parcela da oferta interna atendida pelas importações, de modo que quanto maior for seu resultado, maior será a parcela do mercado doméstico atendida por produtos importados. É calculado pela razão entre as importações por produto e a oferta por produto. A fonte de informação é a Tabela 1 – Importação de bens e serviços e Oferta total, pertencente a matriz de Recursos (IBGE).

$$CPI_i = \frac{M_i}{S_i}$$

em que CPI_i é o coeficiente de penetração de importações; M_i são as importações do setor i ; e S_i é a oferta total do produto i .

B. ANEXO B – ÍNDICES DE RAZÃO CONCENTRAÇÃO (CR)

Este anexo apresenta os resultados dos índices de Razão de Concentração (CR), os quais são utilizados para determinar a participação de grandes empresas no mercado, conforme dados mais detalhados da Relação Anual de Informações Sociais - RAIS oriundos do Ministério do Trabalho. Foi possível obter resultados desagregados, principalmente, em relação aos setores Cimento, Cal e Vidro. O resultado desse índice varia entre 0 (zero) e 100 (cem), onde “0” representa uma situação de concorrência perfeita e “100” indica uma condição de concentração intensa.

Tabela 75: Índices de Razão de Concentração dos setores selecionados do estudo, 2014

Setores	Atividades	CR4	CR8
Papel e Celulose	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	5,45%	8,11%
Química 1	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	5,77%	9,88%
Química 2	Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos	5,73%	8,88%
Química 3	Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene	9,05%	14,31%
Química 4	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	14,25%	23,09%
Vidro	Fabricação de vidro e de produtos do vidro	30,58%	43,62%
	Fabricação de Vidro Plano e de Segurança	14,39%	21,92%
	Fabricação de Embalagens de Vidro	56,00%	79,45%
	Fabricação de Artigos de Vidro	21,35%	29,48%
Cimento	Fabricação de Cimento	14,34%	25,32%
Cal	Fabricação de Cal e Gesso	16,69%	27,58%
Ferro e Aço 1	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	47,92%	63,06%
Ferro e Aço 2	Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	23,10%	34,99%
Alumínio 1	Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos	15,95%	31,15%
Alumínio 2	Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais	15,64%	21,14%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da RAIS (Ministério do Trabalho).



:viveconomics

