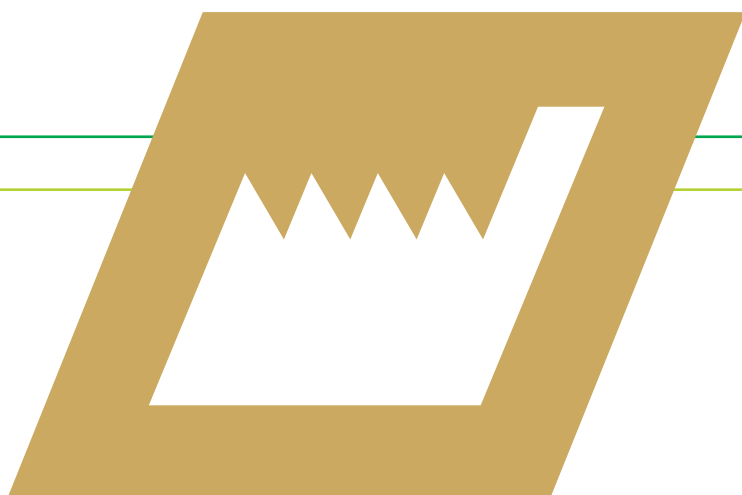




*Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil*



MODELAGEM SETORIAL DE OPÇÕES DE BAIXO CARBONO PARA O SETOR DE METALURGIA DE METAIS NÃO FERROSOS

RÉGIS RATHMANN
(ORGANIZADOR)

***MODELAGEM SETORIAL DE OPÇÕES
DE BAIXO CARBONO PARA O SETOR
DE METALURGIA DE METAIS NÃO
FERROSOS***

Brasília
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
ONU Meio Ambiente
2017

M689 Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de metalurgia de metais não ferrosos / organizador Régis Rathmann. - Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017.

111 p.: il. - (Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil)

ISBN: 978-85-88063-57-0

1. Mudanças Climáticas. 2. Emissão de gases. 3. Metal não-ferroso. 4. Metalurgia. 5. Produção de metal não-ferroso – Tecnologia. 6. Políticas públicas – Emissão de gases. I. Rathmann, Régis. II. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. III. ONU Meio Ambiente. IV. Série.

CDU 551.583

Ficha catalográfica elaborada por: Lorena Nelza F. Silva – CRB-1/2474

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e
Comunicações
Esplanada dos Ministérios, Bloco E
CEP: 70.067-900 – Brasília – DF
Tel.: +55 (61) 2033-7500
www.mcti.gov.br

ONU Meio Ambiente – Programa das Nações Unidas
para o Meio Ambiente
Casa da ONU – Complexo Sérgio Vieira de Mello
Setor de Embaixadas Norte, Quadra 802, Conjunto C,
Lote 17
CEP 70800-400 – Brasília/DF
Tel.: +55 (61) 3038-9233
web.unep.org/regions/brazil

República Federativa do Brasil

Presidente da República

Michel Temer

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Gilberto Kassab

Secretário Executivo

Elton Santa Fé Zacarias

Secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento

Jailson Bittencourt de Andrade

Diretor do Departamento de Políticas e Programas de Ciências

Sávio Túlio Oselieri Raeder

Coordenador-Geral do Clima

Márcio Rojas da Cruz

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – ONU Meio Ambiente

Diretor Executivo da ONU Meio Ambiente

Erik Solheim

Diretor Regional da ONU Meio Ambiente para América Latina e Caribe

Leo Heileman

Representante da ONU Meio Ambiente no Brasil

Denise Hamú

EQUIPE TÉCNICA DO MCTIC

Coordenador-Geral do Clima

Márcio Rojas da Cruz

Diretor Nacional do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil

Ricardo Vieira Araujo

Coordenador do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil

Antônio Marcos Mendonça

Coordenador Técnico do Projeto Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil

Régis Rathmann

EQUIPE TÉCNICA

Andréa Nascimento de Araújo

Lidiane Rocha de Oliveira Melo

Marcela Cristina Rosas Aboim Raposo

Moema Vieira Gomes Corrêa (Diretora Nacional do Projeto até outubro de 2016)

Rodrigo Henrique Macedo Braga

Sonia Regina Mudrovitsch de Bittencourt

Susanna Erica Busch

EQUIPE ADMINISTRATIVA

Ana Carolina Pinheiro da Silva

Andréa Roberta dos Santos Campos

Maria do Socorro da Silva Lima

Ricardo Morão Alves da Costa

EQUIPE TÉCNICA DA ONU MEIO AMBIENTE

Francine Costa Vaurof

Patricia Taboada

Guilherme Sattamini

Maria Claudia Cambraia

AUTOR

Lilia Caiado Coelho Beltrão Couto

Raymundo Moniz de Aragão Neto

Revisão

Anna Cristina de Araújo Rodrigues

Projeto Gráfico

Capitular Design Editorial

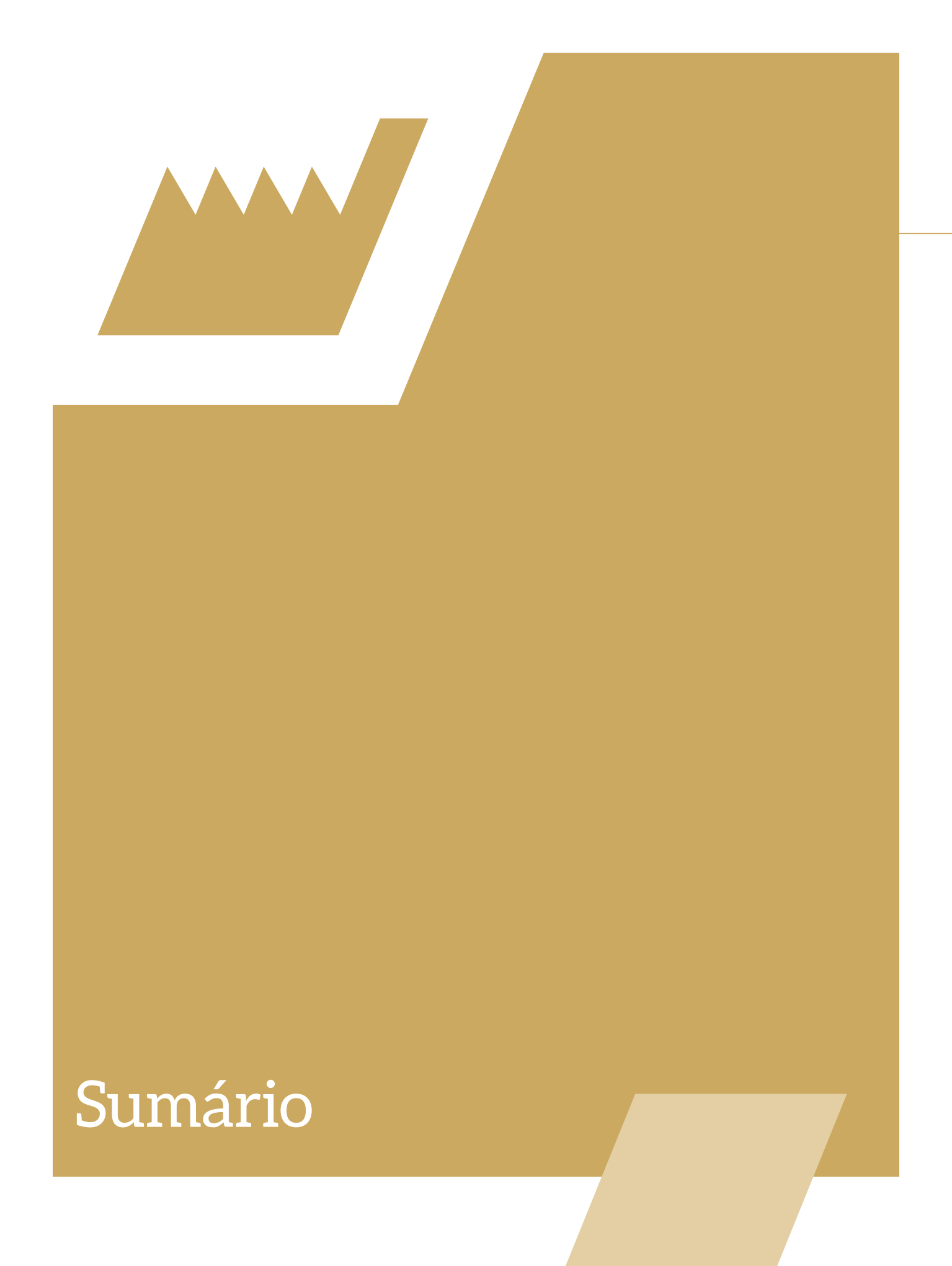
Editoração

Phábrica de Produções: Alecsander Coelho e

Paulo Ciola (direção de arte); Ércio Ribeiro, Icaro

Bockmann, Kauê Rodrigues, Marcelo Macedo e

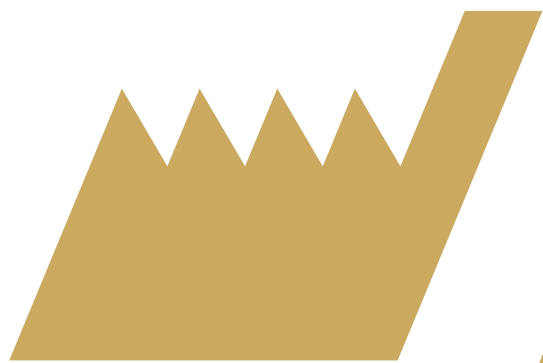
Rodrigo Alves (diagramação)

The background features abstract geometric shapes in gold and tan. A large gold shape occupies the upper right and middle sections. A smaller gold shape with a jagged top edge is in the upper left. A tan shape is in the bottom right corner. The word 'Sumário' is written in white serif font in the bottom left of the gold area.

Sumário

INTRODUÇÃO.....	17
1 CARACTERIZAÇÃO SETORIAL	21
1.1 ALUMÍNIO	21
1.2 CHUMBO	27
1.3 COBRE	30
1.4 ESTANHO.....	34
1.5 FUNDIDOS.....	36
1.6 NÍQUEL.....	40
1.7 ZINCO.....	43
2 MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS APLICÁVEIS AOS PROCESSOS PRODUTIVOS DO SETOR.....	49
2.1 ALUMÍNIO	49
2.2 COBRE.....	52
2.3 ESTANHO	53
2.4 FUNDIDOS.....	53
2.5 NÍQUEL	56
2.6 ZINCO	57
3 CENÁRIOS DE REFERÊNCIA, BAIXO CARBONO E BAIXO CARBONO COM INOVAÇÃO.....	61
3.1 CENÁRIO REF	62
3.1.1 Premissas	62
3.1.2 Resultados	65

3.2 CENÁRIO BC.....	66
3.2.1 Premissas	66
3.2.2 Resultados	68
3.2.3 Custos marginais de abatimento	69
3.3 CENÁRIO BC+I.....	75
3.3.1 Premissas	75
3.3.2 Resultados	77
4 SUBSÍDIOS À FORMULAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA A ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO	81
4.1 BARREIRAS E COBENEFÍCIOS À IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE BAIXO CARBONO PELO SETOR	82
4.2 SÍNTESE DAS EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS COM POLÍTICAS DE BAIXO CARBONO.....	84
4.3 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
REFERÊNCIAS.....	100



Listas de tabelas,
figuras, quadros e
siglas e acrônimos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção Total de Alumínio e Alumina entre 1990 e 2014.....	22
Tabela 2 – Capacidade Instalada para Produção de Alumínio Primário (2014 a 2016).....	23
Tabela 3 – Consumos Específicos para Produção de Alumina e Alumínio.....	25
Tabela 4 – Consumo de Insumos para Produção de Alumina no Brasil em 2010...	25
Tabela 5 – Consumo de Insumos para Produção de Alumínio Primário no Brasil em 2010	26
Tabela 6 – Consumo Específico para Produção de Alumina no Brasil em 2006	26
Tabela 7 – Consumo Específico para Produção de Alumínio no Brasil em 2006 ...	27
Tabela 8 – Produção de Chumbo Metálico no Brasil entre 1990 e 2014	28
Tabela 9 – Produção de Cobre Metálico entre 1990 e 2014	31
Tabela 10 – Consumo Específico para Produção de Cobre Primário no Brasil em 2006.....	33
Tabela 11 – Produção de Estanho Metálico entre 1990 e 2014	34
Tabela 12 – Consumo Específico para Produção de Estanho no Brasil em 2006 ...	35
Tabela 13 – Desagregação da Produção de Fundidos entre 2008 e 2012	37
Tabela 14 – Capacidade Instalada de Produção de Fundidos no Brasil em 2010	39
Tabela 15 – Participação na Produção de Fundidos por Regiões e Estados do Brasil	40
Tabela 16 – Produção de Níquel Metálico entre 1990 e 2014.....	41
Tabela 17 – Consumo Específico para Produção de Níquel (Brasil, 2006)	42
Tabela 18 – Produção de Zinco Metálico entre 1990 e 2014.....	44
Tabela 19 – Consumo Específico para Produção de Zinco no Brasil em 2006	46
Tabela 20 – Medidas para Redução de Emissões em Fundição.....	54

Tabela 21 – Medidas de Conservação de Energia em Fundições.....	55
Tabela 22 – Medidas de Eficiência Energética em Fundições	56
Tabela 23 – Penetração das Tecnologias Soderberg e Prebake no Cenário REF	63
Tabela 24 – Distribuição do Consumo Energético por Fontes e Uso Final	63
Tabela 25 – Taxas Médias de Crescimento Aplicadas na Projeção de Demanda Energética	64
Tabela 26 – Fatores de Emissão de CO ₂ pelo Uso de Energéticos (Queima de Combustíveis).....	64
Tabela 27 – Fatores de Emissão de CO ₂ do SIN.....	65
Tabela 28 – Consumo Energético do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário REF	66
Tabela 29 – Emissões de GEE do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário REF	66
Tabela 30 – Consumo Específico dos <i>Smelters</i>	67
Tabela 31 – Potenciais e Custos das MTD de Eficientização Energética Consideradas no Cenário BC	68
Tabela 32 – Consumo Energético do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário BC.....	68
Tabela 33 – Emissões de GEE do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário BC.....	69
Tabela 34 – Preços dos Combustíveis	71
Tabela 35 – Preços de Petróleo Considerados para o Cálculo do Custo Marginal de Abatimento das Possibilidades de Mitigação	71
Tabela 36 – Preços dos Combustíveis e da Eletricidade para a Taxa de Desconto de 8% ao ano.....	72
Tabela 37 – Custos de Capital e O&M e Vida Útil das MTD.....	72
Tabela 38 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para Taxa de Desconto de 8% a.a.....	73
Tabela 39 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para Taxa de Desconto de 15% a.a.	73
Tabela 40 – Potenciais de Economia de Energia e Aplicabilidade das Tecnologias Inovadoras	76
Tabela 41 – Consumo de Energia do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário BC+I	77
Tabela 42 – Emissões de GEE do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário BC+I.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção de Alumina.....	24
Figura 2 – Cuba para Redução do Alumínio	24
Figura 3 – Fluxograma de Reciclagem de Baterias Automotivas.....	29
Figura 4 – Etapas do Processamento do Cobre	32
Figura 5 – Consumo de Energia em Planta Produtora de Cobre Primário	33
Figura 6 – Destino das Vendas – Fundidos no Brasil em 2008	36
Figura 7 – Tipos de Fundidos	37
Figura 8 – Classificação dos Processos de Fundição, Quanto ao Molde.....	38
Figura 9 – Fluxograma do Processo de Fundição	39
Figura 10 – Usos do Níquel (União Europeia)	41
Figura 11 – Processo de Produção de Zinco.....	45
Figura 12 – Demanda de Energia dos Cenários REF e BC	68
Figura 13 – Emissões de GEE nos Cenários REF e BC	69
Figura 14 – Curva de Custos Marginais de Abatimento com Taxa de Desconto de 8% ao ano.....	74
Figura 15 – Curva de Custos Marginais de Abatimento com Taxa de Desconto de 15% ao ano	74
Figura 16 – Demanda de Energia dos Cenários REF, BC e BC+I.....	77
Figura 17 – Emissões de GEE nos Cenários REF, BC e BC+I	78
Figura 18 – Instrumentos Utilizados por Países para Promover a Eficiência Energética na Indústria	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tecnologias Consideradas no Cenário REF	62
Quadro 2 – MTD Consideradas no Cenário BC.....	67
Quadro 3 – Tecnologias Consideradas no Cenário BC+I	76
Quadro 4 – Quadro-resumo de Medidas, Barreiras e Instrumentos de Política Pública para Adoção dos Cenários de Baixo Carbono.....	92

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio
AFOLU – Agricultura, florestas e outros usos do solo
BEN – Balanço Energético Nacional
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPEX – Despesas de capital
CCMA – Curvas de custos marginais de abatimento
CENÁRIO BC – Cenário de baixo carbono
CENÁRIO BC+I – Cenário de baixo carbono com inovação
CENÁRIO REF – Cenário de referência
CH₄ – Metano
CHP – *Combined heat and power*
CMA – Custos marginais de abatimento
CNI – Confederação Nacional da Indústria
CO₂ – Dióxido de carbono
CO₂e – Dióxido de carbono equivalente
COP21 – 21ª Conferência das Partes – Paris
DECC – Departamento de Energia e Mudança Climática do Reino Unido
EIA – U.S. Energy Information Administration
FGV – Fundação Getúlio Vargas
FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
GEE – Gases de efeito estufa
GEF – Global Environment Facility
GJ – Gigajoule
HFC – Hidrofluorcarbonetos
IEA – Agência Internacional de Energia
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MRV – Medição, relato e verificação
MTD – Melhores tecnologias disponíveis

N₂O – Óxido nitroso

O&M – Operação e manutenção

OPEX – Despesas operacionais

PFC – Compostos perfluorados

PIB – Produto interno bruto

PNMC – Política Nacional de Mudanças Climáticas

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre

TCN – Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima

UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency

The background features a large, solid gold shape on the left and a large, solid tan shape on the right. In the top left, there is a smaller gold shape with a jagged, sawtooth-like top edge. In the bottom right, there is a smaller tan shape with a diagonal cut. The word "Introdução" is written in white serif font in the bottom left corner of the gold shape.

Introdução

INTRODUÇÃO

A questão das mudanças climáticas tem sido, cada vez mais, um entrave ao desenvolvimento sustentável. O Brasil, nesse contexto, tem se posicionado de maneira ativa nas negociações climáticas globais, propondo metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Segundo o World Bank (2016), o país desempenhou papel fundamental na formulação do quadro climático para a 21ª Conferência das Partes (COP21), que culminou com o Acordo de Paris. Na ocasião, o Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, com possível esforço para chegar à redução de 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030.¹ Essa meta é considerada absoluta, pois estabelece um teto de emissões, diferentemente do ocorrido na COP15, em Copenhague, no ano de 2009, quando o Brasil assumiu uma meta voluntária relativa, de redução de suas emissões em relação a uma projeção para o ano de 2020.

As emissões são referentes à totalidade das emissões nacionais, incluindo CO₂, CH₄, N₂O, PFC, HFC e SF₆, já estimados no inventário nacional. O percentual de redução das emissões será aplicado às emissões do ano-base de 2005, com os gases sendo convertidos a CO₂e, usando-se a métrica GWP-100 do AR5.² Para a estimativa dos gases, serão utilizadas as metodologias do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) para inventários nacionais. Faz-se menção explícita à possibilidade de utilização das remoções, ou seja, retirada de dióxido de carbono da atmosfera pelas florestas manejadas, na composição das emissões nacionais. Esse método é exatamente o que se utiliza desde a Segunda Comunicação Nacional à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), contendo o Segundo Inventário Nacional de GEE.

Avaliando-se os setores da economia brasileira, no que concerne às emissões de GEE, a maior parcela das emissões líquidas estimadas de CO₂e, segundo o GWP-100 do AR5, é proveniente do setor agropecuário e uso e mudança do uso da terra e florestas (Afolu), correspondendo a aproximadamente 61% das emissões totais no ano de 2010 (MCTIC, 2016). Em segundo lugar, vem o setor de energia, com 27%, e, em seguida, processos industriais, com cerca de 7% das emissões totais de CO₂ nesse ano. Porém, ao considerar exclusivamente as emissões relacionadas com a consumo de energia, o setor industrial passaria a ser responsável por cerca de 1/3 das emissões totais (HENRIQUES JR., 2010; MCTIC, 2016). Nesse contexto, o setor industrial tem papel relevante para a mitigação de emissões

¹ De acordo com a Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTI, 2010).

² Métrica de conversão para dióxido de carbono equivalente do 5º relatório de avaliação do IPCC (MCTIC, 2016).

de GEE (HENRIQUES JR., 2010; BORBA et al., 2012; CNI, 2010a; RATHMANN, 2012), o que justifica a implementação de política pública nesse sentido, qual seja o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação, comumente chamado de Plano Indústria (FGV, 2015).

Apesar da ambição, os esforços de mitigação e potenciais contribuições setoriais não foram detalhados setorialmente e sequer sua viabilidade técnico-econômica foi avaliada junto à Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris. Nesse contexto, o projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil”, financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (Global Environment Facility – GEF) e implementado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), pode contribuir significativamente, na medida em que objetiva ajudar o governo brasileiro a reforçar sua capacidade técnica de apoiar a implementação de ações de mitigação de emissões de GEE em setores-chave da economia.

No âmbito do setor de metalurgia de metais não ferrosos, o objetivo é identificar as possibilidades de mitigação de emissões de GEE. Adicionalmente, serão avaliados barreiras, cobenefícios e potenciais efeitos adversos à adoção das atividades de baixo carbono para, partindo disso, serem propostos instrumentos de política pública capazes de viabilizá-las.

Para responder a esse objetivo, o presente trabalho é composto por uma introdução, quatro capítulos e as considerações finais. O capítulo 1 tratará de caracterizar os principais processos produtivos do setor, bem como apresentará os consumos energéticos específicos em nível desagregado. No capítulo 2, serão detalhadas as melhores tecnologias disponíveis (MTD), visando, direta ou indiretamente, mitigar emissões de GEE. No capítulo 3, apresentar-se-ão os cenários de referência (REF), baixo carbono (BC) e baixo carbono com inovação (BC+I) construídos para o setor. No capítulo 4, serão identificados barreiras e cobenefícios à implementação das MTD e instrumentos aplicáveis, visando à adoção dos cenários de baixo carbono. Por fim, serão apresentadas as considerações finais do presente estudo.

Semelhantemente aos estudos de De Gouvello (2010) e La Rovere et al. (2016), este relatório considera uma avaliação setorial, por meio da construção de cenários de emissões de GEE, que tem como limitação a inobservância de possíveis efeitos de não aditividade dos potenciais de mitigação do sistema energético (MCTIC, 2017a; 2017b), que abrange os diferentes segmentos industriais. De fato, a avaliação setorial é relevante, sobretudo, para realizar o mapeamento das MTD, visando à mitigação setorial de emissões de GEE, para, partindo disso, constituir uma base de dados para a modelagem dos setores industriais em cenários integrados de abatimento de emissões do sistema energético e do setor de agricultura, florestas e outros usos do solo (Afolu). Deve-se enfatizar que resultarão desses cenários integrados estimativas robustas dos potenciais e custos de abatimento desses setores, as quais serão reportadas no relatório *Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono* (MCTIC, 2017b). Portanto, o reporte de projeções de emissões e custos marginais de abatimento neste estudo setorial objetiva, meramente, a comparação com os resultados oriundos da integração dos cenários por meio dos modelos MSB8000, Otimizagro e Efes, de modo a enfatizar a importância dessa metodologia.



Caracterização setorial

Capítulo

1

1 CARACTERIZAÇÃO SETORIAL

O setor reúne diferentes subsetores específicos, correspondendo à produção primária dos seguintes metais, conforme apresentado em MME (2013):

- Alumínio
- Chumbo
- Cobre
- Estanho
- Fundidos
- Níquel
- Zinco

A caracterização setorial, com foco em produtos, processos e consumo energético, será realizada segundo os subsetores citados. Os dados de produção e consumo energético abrangem, particularmente, o ano-base que será considerado para a construção dos cenários REF, BC e BC+I, qual seja 2010.

1.1 ALUMÍNIO

O subsetor do alumínio, como representado no Balanço Energético Nacional (EPE, 2014; 2017), contempla a produção de alumina e de alumínio primário. As atividades de extração e processamento de bauxita, minério básico, são incluídas no setor de mineração e pelletização, enquanto o processamento de alumínio e a produção de alumínio secundário (originado da recuperação de sucatas) são incluídos no setor de outras indústrias.

As principais aplicações do alumínio, conforme descrito em Abal (2013), são:

- Construção civil – esquadrias e revestimentos, telhas e estruturas;
- Transportes – indústria aeronáutica, ferroviária, automotiva e naval;
- Indústria eletroeletrônica – produção de cabos, capacitores e componentes;
- Bens de consumo – componentes para eletrodomésticos e mobiliários;
- Máquinas e equipamentos;
- Embalagens.

As plantas de alumínio primário, conforme informação dos próprios fabricantes (HYDRO, 2014; ALCOA, 2014; VOTORANTIM METAIS, 2014), entregam o metal nas seguintes formas:

- Lingotes, para fundição;
- Tarugos, para extrusão;
- Extrudados;
- Chapas e bobinas;
- Folhas.

De acordo com Mineral Data (2017), o volume produzido no país de alumínio e alumina é indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Produção Total de Alumínio e Alumina entre 1990 e 2014

Ano	Produção (t)
1990	1.654.800
1991	1.743.000
1992	1.833.000
1993	1.853.000
1994	1.868.000
1995	2.143.000
1996	2.759.000
1997	3.088.000
1998	3.322.000
1999	3.515.000
2000	3.743.000
2001	3.445.000
2002	3.962.000
2003	5.111.000
2004	5.300.000
2005	5.300.000
2006	6.735.000
2007	7.078.000
2008	7.822.000
2009	7.800.000
2010	9.433.000
2011	10.306.000
2012	10.320.000
2013	10.517.000
2014	10.439.000

Fonte: MINERAL DATA, 2017

A capacidade instalada de produção de alumínio primário entre 2014 e 2016 é apresentada em Abal (2018) – Tabela 2. A queda na capacidade instalada nos anos de 2015 e 2016 decorre do fechamento das unidades de processamento de alumínio primário da Alcoa, Alumar e Novelis, que decorre da queda na demanda doméstica, aumento dos custos de produção em face do encarecimento da energia e queda no preço do alumínio no mercado internacional em vista da expansão de produção na China (ABESCO, 2015),

Tabela 2 – Capacidade Instalada para Produção de Alumínio Primário (2014 a 2016)

Produtores	Localização	Capacidade instalada ao ano (mil toneladas)		
		2014	2015	2016
Albras	Barcarena/PA	460	460	460
Alcoa	Poços de Caldas/MG	98	-	-
Alumar	São Luís/MA	457	-	-
Companhia Brasileira de Alumínio	Alumínio/SP	475	475	455
Novelis	Ouro Preto/MG	60	-	-
Total		1.550	935	915

Fonte: Elaboração própria com base em ABAL, 2018

Informações obtidas em Hydro (2014) destacam a capacidade instalada para produção de alumina no país, qual seja 6.200.000 t/ano na unidade da Hydro Alunorte.

Apesar da crise, em 2016 o setor gerou 119 mil empregos diretos e 324 mil empregos indiretos, com participação no produto interno bruto (PIB) total de 0,9% e de 4,8% no PIB do setor industrial. Em termos de comércio exterior, o Brasil foi o décimo primeiro produtor mundial de alumínio e terceiro produtor de alumina, sendo que o setor representou 1,9% das exportações totais do país e apresentou saldo positivo na balança comercial de US\$ 2,2 bilhões (ABAL, 2018).

O processo de produção de alumina mais utilizado mundialmente, inclusive no Brasil, é o denominado Bayer, consistindo basicamente em moagem, digestão, filtração/evaporação, precipitação e calcinação. Como descrito em Abal (2013), a bauxita (mineral básico) – previamente lavada e secada – é dissolvida em soda cáustica e filtrada para separação do material sólido, concentrando-se o filtrado para a cristalização da alumina. Os cristais são secados e calcinados para eliminar a água, sendo o pó branco de alumina pura enviado à redução para obtenção de alumínio. A Figura 1 ilustra o processo.

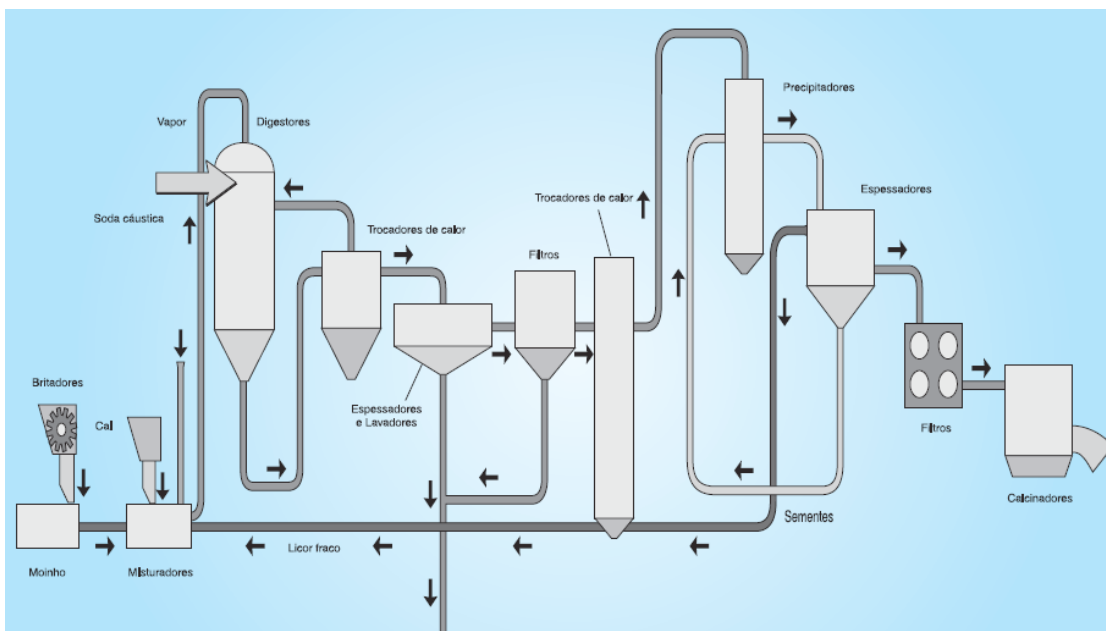


Figura 1 – Produção de Alumina

Fonte: ABAL, 2013

A produção de alumínio metálico primário é descrita em Abal (2013), sendo o processo iniciado pela redução da alumina calcinada em cubas eletrolíticas, no processo conhecido por Hall-Héroult, que consiste sucintamente em:

- Dissolução da alumina em banho de criolita fundida e fluoreto de alumínio, com liberação de oxigênio;
- O oxigênio liberado se combina com o carbono contido em anodos, liberando dióxido de carbono;
- O alumínio metálico se precipita no fundo da cuba, sendo transferido para fusão e conformação (normalmente, na forma de lingotes e tarugos).

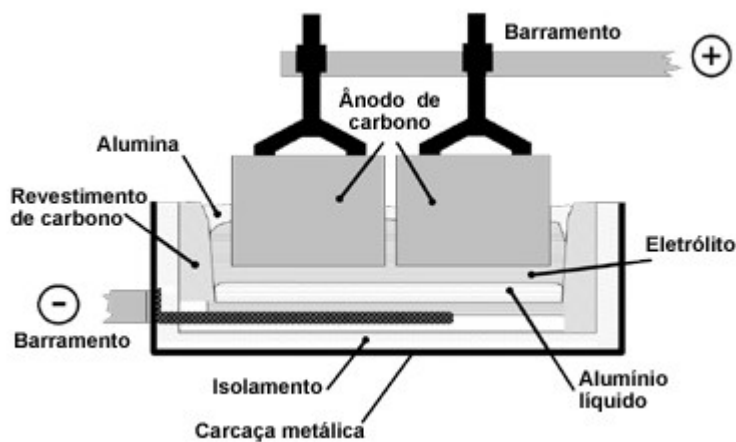


Figura 2 – Cuba para Redução do Alumínio

Fonte: ABAL, 2014

Em termos de consumo energético, Mártires (2001) apresenta o consumo típico de insumos para produção de uma tonelada de alumínio primário:

- Bauxita: 1.930 kg
- Eletricidade: 14 a 16,5 MWh
- Criolita: 12 kg
- Fluoreto de alumínio: 20 a 30 kg
- Coque de petróleo: 0,4 a 0,5 t
- Piche: 0,1 a 0,15 t

IEA (2007) indica uma intensidade energética primária de 175 e final de 100 GJ/t (ou 239 tep/t)³ para produção de alumínio primário. Na Austrália, segundo a etapa de produção e insumos energéticos, os consumos específicos verificados em 1998 são indicados na Tabela 3.

Tabela 3 – Consumos Específicos para Produção de Alumina e Alumínio

Etapa de produção	Consumo específico de energia por insumo energético (MJ/t)			
	Eletricidade	Gás natural	Produtos de petróleo e carvão	Coque e piche
Refino de alumina	1.058	6.087	5.718	-
Produção de alumínio	69.231	4.769	308	23.385

Fonte: Elaboração própria a partir de AUSTRALIA, 2000

Em MDIC (2012), são apresentados consumos de insumos, relativos a 2010, para produção no Brasil de alumina e alumínio primário.

Tabela 4 – Consumo de Insumos para Produção de Alumina no Brasil em 2010

Insumos	Unidade	Consumo
Bauxita	t	2,3818
Energia elétrica	MWh	0,2059
Óleo combustível	GJ	3,99
Soda cáustica	t	0,1076

Fonte: Elaboração própria a partir de MDIC, 2012

³ Como referência nacional, Simões e Bajay (2010) estimam um valor de 152 tep/t para o Brasil. É importante observar que IEA (2007) utiliza o critério de energia primária – o que inclui o consumo de fontes para transformação, especialmente para geração de eletricidade.

Tabela 5 – Consumo de Insumos para Produção de Alumínio Primário no Brasil em 2010

Insumos	Unidade	Consumo
Alumina	t	1,9234
Energia elétrica	MWh	15,613
Óleo combustível	GJ	0,80
Coque	GJ	10,35
Piche	t	0,1122
Fluoreto	t	0,0221
Criolita	t	0,0053

Fonte: Elaboração própria a partir de MDIC, 2012

Simões e Bajay (2010) apresentam o consumo desagregado para produção de alumínio e alumina. A partir desses valores, apresentam consumos específicos de energia apurados em 2006, que constam na Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 6 – Consumo Específico para Produção de Alumina no Brasil em 2006

Insumos	Consumo específico	Unidade
Bauxita	5,12	t/t
Soda cáustica	206,8	kg/t
Óleo combustível	238,3	kg/t
Eleticidade	648,9	kWh/t
Consumo específico total	11,91	GJ/t

Fonte: Elaboração própria a partir de SIMÕES; BAJAY, 2010

Tabela 7 – Consumo Específico para Produção de Alumínio no Brasil em 2006

Insumos	Consumo específico	Unidade
Alumina	1,93	t/t
Fuoreto	20,01	kg/t
Criolita	5,92	kg/t
Óleo combustível	33,78	kg/t
Eletricidade	14,94	MWh/t
Coque de petróleo	375	kg/t
Piche	114,5	kg/t
Consumo específico total	55,5	GJ/t

Fonte: Elaboração própria a partir de SIMÕES; BAJAY, 2010

1.2 CHUMBO

Silva (2001) indica que a principal aplicação do chumbo é na fabricação de baterias, representando 70% da demanda do metal em termos mundiais. Segundo o autor, é o sexto metal de maior utilidade industrial, cujas propriedades mecânicas (ductilidade e maleabilidade) permitem sua aplicação como chapas ou tubos, além de capacidade de absorção de ondas eletromagnéticas curtas – o que justifica seu emprego na proteção de fontes de raios X, por exemplo. Apesar dessa importância, o aparecimento de novas aplicações para o metal é muito pequeno em comparação a outros metais.

De acordo com Ibram (2014), a indústria de acumuladores (principalmente baterias automotivas) representa 89,9% do consumo interno, seguindo-se a aplicação na forma de óxidos na indústria química, eletrônica, de vidros e na produção de pigmentos.

Sobral et al. (2012) apresentam os seguintes produtos do processamento de chumbo primário:

- Compostos orgânicos;
- Óxidos;
- Chapas;
- Grânulos e ligas;
- Tubos, arames e cabos;
- Pigmentos e coberturas.

De acordo com Mineral Data (2017), o volume produzido de chumbo metálico no Brasil é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Produção de Chumbo Metálico no Brasil entre 1990 e 2014

Ano	Produção (t)
1990	30.118
1991	22.300
1992	24.500
1993	27.500
1994	14.634
1995	13.958
1996	-
1997	-
1998	-
1999	-
2000	-
2001	102.814
2002	104.620
2003	128.610
2004	137.121
2005	104.904
2006	108.951
2007	130.963
2008	95.704
2009	104.160
2010	114.887
2011	115.691
2012	165.397
2013	151.964
2014	160.393

Fonte: Elaboração própria a partir de MINERAL DATA, 2017

Silva (2001) indica que, no Brasil, não há metalurgia para refino de chumbo, podendo-se concluir que os processos de reciclagem e processamento de chumbo importado são limitados a fundição e conformação do metal.

Matos e Ferreira (2007) apresentam fluxograma para reciclagem de baterias automotivas (Figura 3).

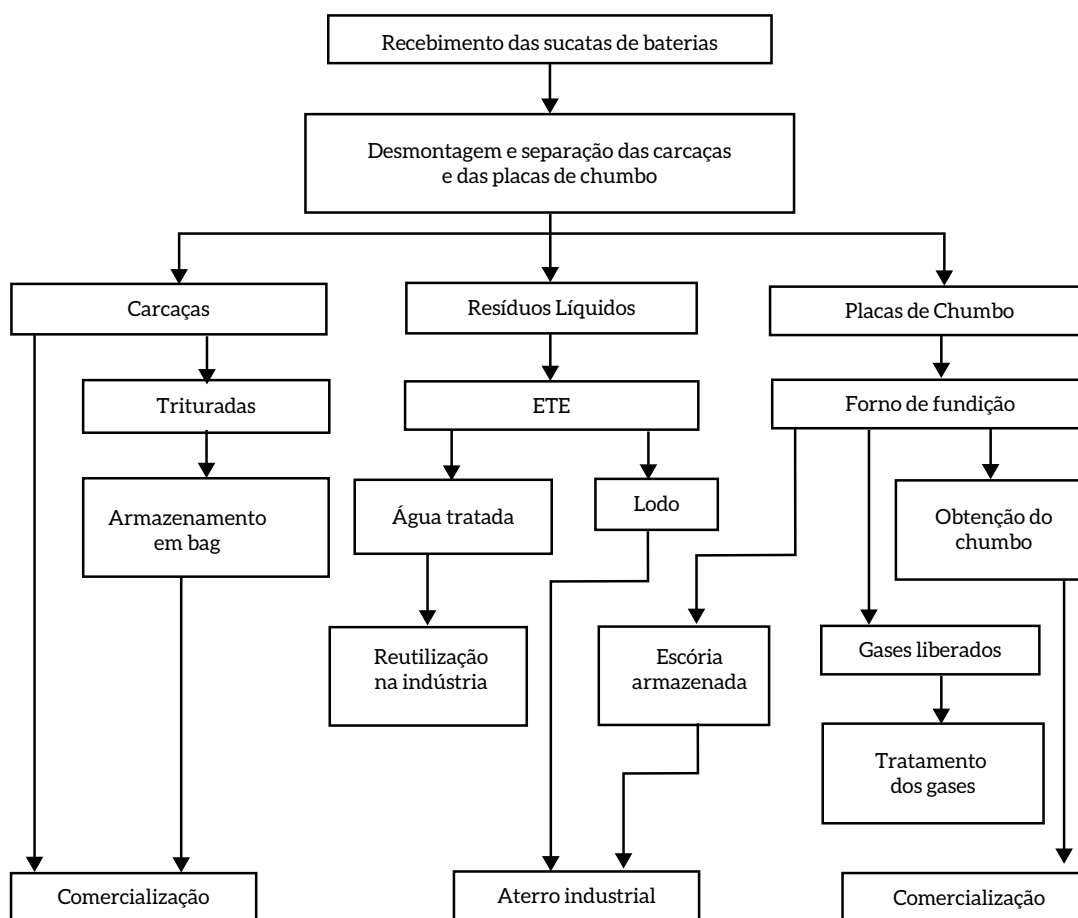


Figura 3 – Fluxograma de Reciclagem de Baterias Automotivas

Fonte: MATOS; FERREIRA, 2007

Segundo Ibram (2014), a produção de chumbo metálico no Brasil ocorre com importação do mineral e reciclagem, em unidades localizadas nos estados de Pernambuco, Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

Silva (2001) informa que, em 2000, a sucata representava 90% da origem do metal processado no país. ICZ (2014) indica que a reciclagem participava com 53% do consumo do metal em 2014, sendo o restante provido por importações.

Não foram localizadas informações sobre a capacidade de produção de chumbo metálico no Brasil.

1.3 COBRE

A atividade industrial do subsetor, como considerado neste estudo, resulta em cobre refinado em dois produtos principais (PARANAPANEMA, 2014a): vergalhões (para posterior trefilação, especialmente na indústria de fios e cabos) e cátodos (para fundição, produção de ligas e outras aplicações).

Como apresentado em Ribeiro (2001), as principais aplicações do cobre são:

- Indústria elétrica e eletrônica, na transmissão de energia, na fabricação de equipamentos elétricos e eletrônicos e de aparelhos eletrodomésticos;
- Engenharia industrial, para serviços de estampagem, forjamento e usinagem de peças e componentes, produção de peças fundidas para corpos de bomba, válvulas, aparelhos para indústrias química e petroquímica, tubos e chapas para trocadores de calor, refrigeradores e condicionadores de ar;
- Construção civil, em coberturas, calhas, instalações hidráulicas e metais sanitários, fechaduras, ferragens, corrimões, juntas de vedação e de dilatação, luminárias e esquadrias, portas, painéis decorativos, adornos etc.;
- Indústria automobilística, em radiadores, carburadores, partes elétricas do veículo e em acessórios;
- Indústria naval, em hélices de propulsão, peças para comportas e ancoradouros, tubulações, tintas anticorrosivas para proteção dos cascos dos navios e em diversos equipamentos, máquinas e instrumentos de navegação;
- Indústria aeronáutica, nos aparelhos de telecomunicações, nas linhas hidráulicas de pressão, mancais de trens de pouso e em equipamentos de precisão e controle de voo;
- Indústria ferroviária, em cabos condutores aéreos para estradas de ferro eletrificadas, motores e outros equipamentos;
- Outros usos, que incluem a cunhagem de moedas, a fabricação de armas e munições, a indústria alimentícia, embalagens, bebidas, farmacêutica, galvanização, indústria química, cerâmica e de equipamentos.

De acordo com Mineral Data (2017), a produção de cobre metálico no Brasil é a seguir apresentada.

Tabela 9 – Produção de Cobre Metálico entre 1990 e 2014

Ano	Produção (t)
1990	157.117
1991	141.443
1992	157.950
1993	161.108
1994	170.027
1995	164.996
1996	172.075
1997	177.060
1998	167.205
1999	193.014
2000	184.564
2001	248.243
2002	207.814
2003	193.378
2004	314.320
2005	306.643
2006	352.884
2007	219.000
2008	233.800
2009	201.000
2010	218.000
2011	218.000
2012	179.000
2013	261.000
2014	239.200

Fonte: Elaboração própria a partir de MINERAL DATA, 2017

De acordo com Ribeiro (2001), o processamento de cobre a partir do concentrado apresenta três fases principais: fundição, metalurgia e refino, compreendendo processos de enriquecimento gradual do concentrado e ligas até o atingimento do teor requerido para transformação em produtos finais.

No Brasil, a fábrica da Paranapanema, em Dias D'Ávila/BA, é a maior produtora nacional – unidade integrada de fundição e refino (PARANAPANEMA, 2014b). A fundição utiliza processo pirometalúrgico, consistindo nas seguintes operações, segundo Ribeiro (2001):

- Ustulação: operação que tem por finalidade reduzir a quantidade de enxofre e grande parte de impurezas voláteis;
- Fusão mática: operação de fusão do concentrado, formando o produto conhecido por “mate” de cobre (liga com 45% a 60% de cobre contido);
- Conversão: etapa iniciada quando o mate de cobre é transferido para fornos conversores, resultando numa liga com 98,5% de cobre contido.

Na etapa de conversão, é liberado SO_2 – aproveitado para produção de ácido sulfúrico e óleo. O blister, resultado da fase de conversão, segue, então, para refino, realizado em duas etapas:

- Refino pirometalúrgico: usado para aumentar a pureza do blister, com produção de ânodos (placas fundidas de cobre) de pureza de 99,7% de cobre contido;
- Refino eletrolítico: consiste na dissolução do cobre dos ânodos através de uma solução ácida, com formação de eletrólito, e transporte do metal cobre para o cátodo por ação de corrente elétrica, onde se deposita com grau 99,99%, de cobre contido.

Na etapa de refino eletrolítico, impurezas insolúveis no eletrólito (inclusive metais preciosos como ouro e prata) se depositam no fundo da célula eletrolítica, constituindo a chamada lama anódica, que segue para purificação e separação dos materiais de valor comercial.

A Figura 4 ilustra o processamento do cobre em unidade integrada (fundição, metalurgia e refino).

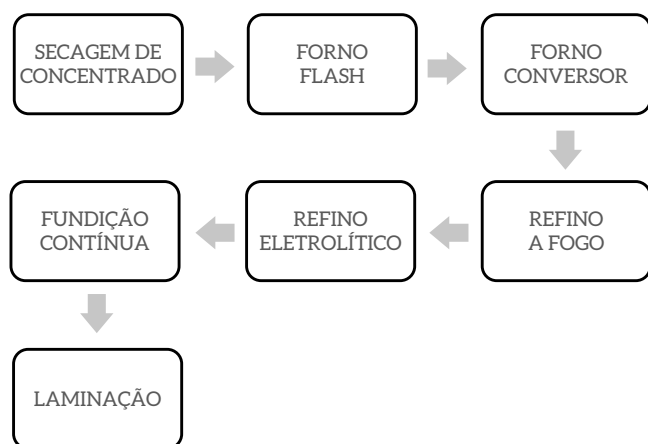


Figura 4 – Etapas do Processamento do Cobre

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES, 1997

De acordo com Ribeiro (2001), a única empresa com atividade de metalurgia do cobre é a Paranapanema. Paranapanema (2014b) indica que, ao final de 2013, a capacidade instalada de refino e laminação atingiu 280 mil e 170 mil toneladas/ano, respectivamente.

IEA (2007) indica uma intensidade energética de 93 GJ/t de cobre primário produzido. Santos (2005) apresenta uma série com consumo específico de eletricidade associado à produção de cátodos de cobre para a fábrica no estado da Bahia, correspondendo, em 2004, a 1,526 MWh/t (5,5 GJ/t). De Farias (2009) apresenta dados mais atualizados e inclui o consumo de combustível, conforme a seguir:

- Eletricidade: 1.442 kWh/t cátodo (5,19 GJ/t cátodo);
- Gás natural: 152,2 m³/t cátodo (5,61 GJ/t cátodo).

Kogashi (2008) apresenta a evolução do consumo específico de energia da Caraíba Metais,⁴ principal planta produtora de cobre primário no Brasil. Pode ser observada a redução significativa do consumo de eletricidade e óleo combustível – este, substituído parcialmente por gás natural. É importante observar que os valores são indicados em relação à tonelagem de concentrado processado, e não ao produto final.

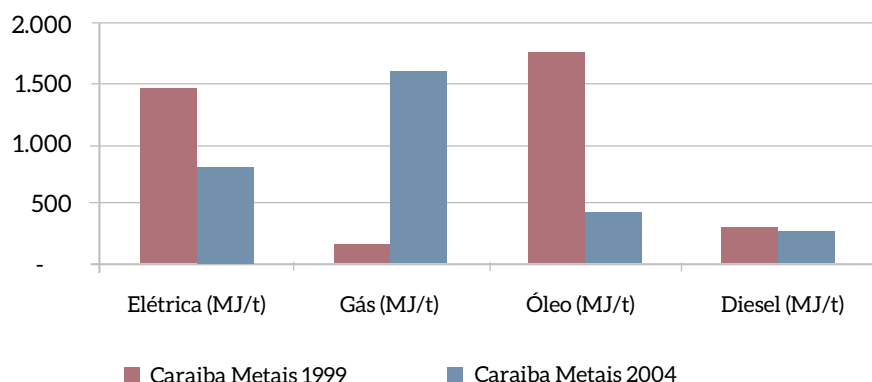


Figura 5 – Consumo de Energia em Planta Produtora de Cobre Primário

Fonte: Elaboração própria a partir de KOGASHI, 2008

Simões e Bajay (2010) apresentam o consumo específico para produção de cobre primário, como indicado na Tabela 10.

Tabela 10 – Consumo Específico para Produção de Cobre Primário no Brasil em 2006

Insumos	Unidade	Consumo
Concentrado de cobre	t	3,24
Sílica	t	0,23
Eletricidade	kWh	1.876
Gás natural	GJ	6,63
Coque de petróleo	GJ	1,04
Óleo combustível	GJ	0,01
Energia total	GJ	14,43

Fonte: Elaboração própria a partir de SIMÕES; BAJAY, 2010

4 "Caraíba Metais" é a designação original da planta industrial localizada em Dias D'Ávila, posteriormente adquirida pela Paranapanema. O autor citado utiliza a designação original, mantida nesta publicação.

1.4 ESTANHO

O estanho metálico é comercializado na forma de lingotes, como indicado em Mineração Taboca (2014).

O metal tem diversas aplicações, segundo Unicamp (2014):

- Ligas: na fabricação de molas, fusíveis, tubos e peças de fundição;
- Sais de estanho: usados em espelhos e na produção de papel, remédios e fungicidas.

Entretanto, a principal aplicação do estanho é como revestimento de placas de outros metais (RODRIGUES, 2001), atribuindo aos produtos finais propriedades antioxidantes.

De acordo com Mineral Data (2017), o volume produzido de estanho metálico no Brasil entre 1990 e 2014 é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Produção de Estanho Metálico entre 1990 e 2014

Ano	Produção (t)
1990	37.611
1991	30.934
1992	26.948
1993	26.945
1994	20.400
1995	15.441
1996	18.800
1997	18.452
1998	14.574
1999	12.787
2000	13.823
2001	12.109
2002	12.031
2003	10.761
2004	11.512
2005	8.986
2006	8.784
2007	10.194
2008	10.797
2009	10.446
2010	6.513
2011	7.339
2012	9.764
2013	16.116
2014	12.100

Fonte: Elaboração própria a partir de MINERAL DATA, 2017

O processo metalúrgico para a obtenção do estanho metálico é descrito em Unicamp (2014). A partir do concentrado de cassiterita, são realizadas as seguintes etapas:

- Redução do concentrado, em fornos elétricos com temperatura entre 1.200 e 1.300°C, com presença de carvão vegetal como redutor;
- Escoamento de escória e estanho, ambos em fase líquida (acima de 1.000°C), sendo a escória após solidificação britada e retornada ao forno de redução;
- Carregamento de estanho, ainda com impurezas, em forno de liquação e vazamento em fornos para conformação.

De acordo com Unicamp (2014), a produção de estanho metálico é realizada nas seguintes unidades industriais:

- CSN, localizada em Ariquenes/RO, com capacidade de produção de 3.600 t/ano;
- Mineração Taboca, localizada no estado de São Paulo, sem indicação de capacidade instalada.

Dados apresentados em Mineração Taboca (2014) indicam que a unidade industrial é localizada em Pirapora do Bom Jesus/SP, sem apresentar a capacidade produtiva.

Rodrigues (2001) apresenta quatro unidades produtoras de estanho metálico:

- Mamoré Mineração e Metalurgia, com capacidade de 25.000 t/ano;
- Estanho de Rondônia S/A, com capacidade de 7.000 t/ano;
- Cesbra e Best Metals, sem indicação de capacidade instalada.

IEA (2007) indica, para produção de estanho, uma intensidade energética primária de 50 GJ/t. Os consumos específicos dos diferentes insumos utilizados na produção de estanho metálico no Brasil são informados por Simões e Bajay (2010).

Tabela 12 – Consumo Específico para Produção de Estanho no Brasil em 2006

Insumos	Unidade	Quantidade
Cassiterita	t	0,88
Fundentes	Kg	22,09
Eletricidade	kWh	5.349
Carvão vegetal	GJ	2,60
Energia total	GJ	21,86

Fonte: Elaboração própria a partir de SIMÕES; BAJAY, 2010

Pode ser visto que o consumo indicado para o Brasil é bastante inferior ao reportado em IEA (2007). A explicação é que a Agência Internacional de Energia indica o consumo primário de energia, ou seja, inclui as fontes utilizadas para geração de eletricidade e outras transformações, enquanto o valor apresentado por Simões e Bajay (2010) se limita ao consumo final.

De Lima (2009) discorre sobre o setor de estanho no Brasil, mas em termos energéticos indica apenas o consumo específico na etapa de fundição, que poderia variar entre 1.600 e 2.000 kWh por tonelada de produto.

1.5 FUNDIDOS

A indústria de fundidos no Brasil produz um grande número de produtos a partir de diferentes metais primários e ligas. D'Ávila Filho (2009) informa que, em 2008, 92,4% da tonelagem produzida foram de peças fundidas ferrosas, e as peças de alumínio participaram com 6,7% do total. O principal segmento comprador é o automotivo, conforme a Figura 6.

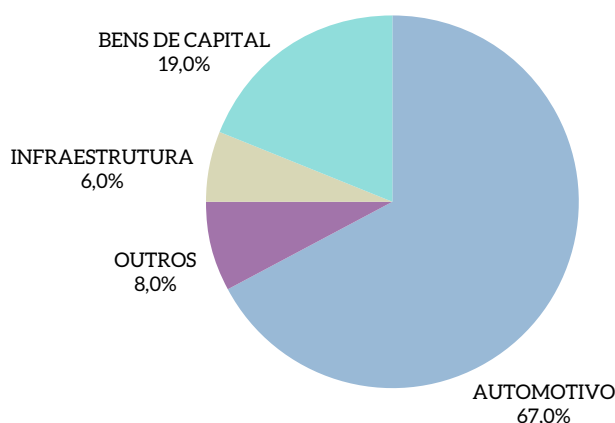


Figura 6 – Destino das Vendas – Fundidos no Brasil em 2008

Fonte: D'ÁVILA FILHO, 2009

As vendas destinadas ao setor de bens de capital, segundo o autor, são destinadas à fabricação de máquinas e equipamentos. Para os demais setores, o destino das vendas é detalhado:

- Agrícola e rodoviário: 24%
- Geração e distribuição de energia: 23%
- Siderurgia, mineração e cimento: 22%
- Ferroviário e naval: 10%
- Açúcar e álcool: 9%
- Outros: 12%

Casotti et al. (2011) apresentam uma classificação dos diversos tipos de fundidos, conforme material básico.

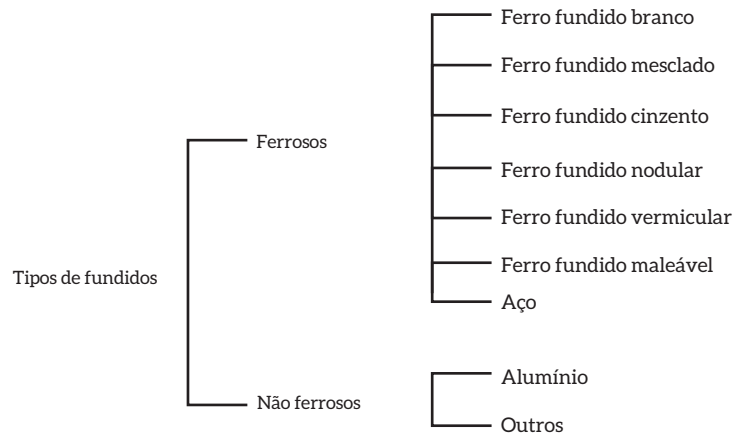


Figura 7 – Tipos de Fundidos

Fonte: CASOTTI et al., 2011.

A produção de fundidos entre 2008 e 2012, segundo detalhamento apresentado em MME (2013), é a seguinte:

Tabela 13 – Desagregação da Produção de Fundidos entre 2008 e 2012

Produtos	Produção anual (t)				
	2008	2009	2010	2011	2012
Ferro	2.777.093	1.917.851	2.724.988	2.799.157	2.360.680
Aço	323.618	166.382	243.432	270.302	262.020
Não ferrosos (total)	254.321	212.683	272.558	274.183	247.198
Cobre	19.886	12.075	16.539	14.245	14.828
Zinco	3.462	2.806	2.797	3.681	3.445
Alumínio	224.966	194.569	248.454	251.640	225.276
Magnésio	6.005	3.233	4.788	4.617	3.649
Total	3.355.232	2.296.916	3.240.978	3.343.642	2.859.898

Fonte: Elaboração própria a partir de MME, 2013

Como apresentado em Machado (2014, p. 2): “fundição é um processo de fabricação onde um metal ou liga metálica, no estado líquido, é vazado em um molde com formato e medidas correspondentes aos da peça a ser produzida. [...] Em muitos casos após a fundição, a peça é usinada para serem feitos ajustes dimensionais ou mesmo conformada mecanicamente (por exemplo, ser forjada), para que as formas e dimensões finais sejam obtidas”.

Segundo a autora, os principais processos de fundição são:

- Fundição utilizando moldes de areia;
- Fundição em casca (*shell-mold*);
- Fundição utilizando cera perdida;
- Fundição por centrifugação;
- Fundição a vácuo;
- Fundição utilizando moldes permanentes;
- Fundição sob pressão
- Fundição contínua.

Silva (2009) classifica os processos de fundição quanto ao molde, como representado a seguir.

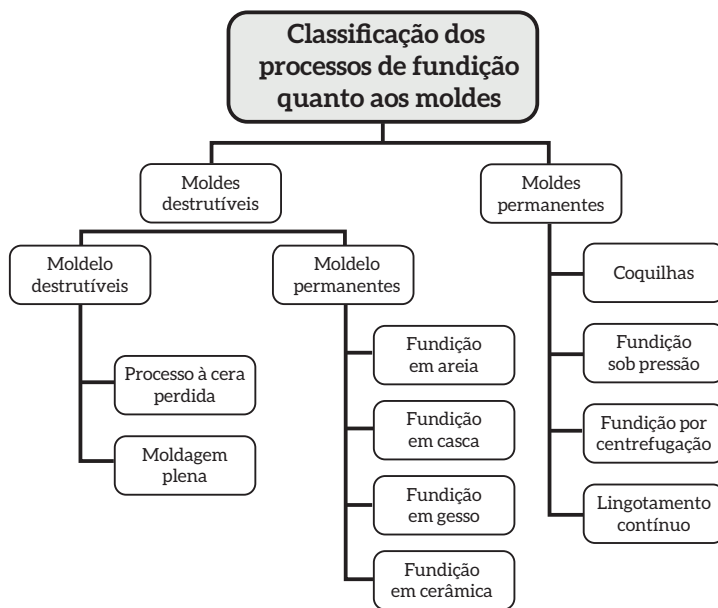


Figura 8 – Classificação dos Processos de Fundição, Quanto ao Molde

Fonte: SILVA, 2009

Segundo o autor, as etapas de um processo de fundição são as seguintes:

- Confecção do modelo: tem o formato da peça a ser fundida e serve para a construção do molde. Suas dimensões devem prever a contração do metal e eventual excesso (sobremetal) para posterior usinagem e acabamento;
- Confecção do molde: dispositivo que receberá o metal fundido para a fabricação da peça, consistindo de cavidade deixada pelo modelo da peça a ser fundida. O molde pode ser construído em diferentes materiais (areia, cerâmicas, ligas metálicas, gesso e cimento);
- Confecção dos machos: dispositivos colocados nos moldes antes de seu fechamento, com a função de formar vazios, furos e reentrâncias na peça fundida;

- Fusão do metal e vazamento nos moldes (enchimento do molde com o metal líquido);
- Desmoldagem: retirada da peça do molde após a solidificação do metal;
- Rebarbação: retirada dos canais de alimentação, alimentadores ou rebarbas existentes;
- Limpeza: eliminação de resíduos.

Um fluxograma que representa o processo de fundição é apresentado em Soares (2000):

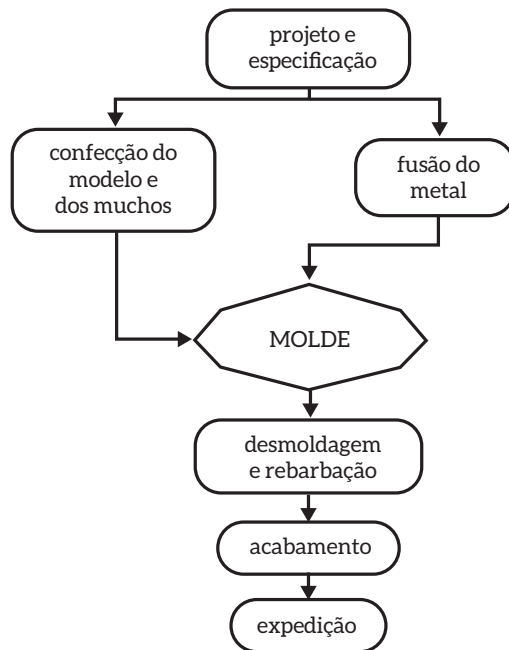


Figura 9 – Fluxograma do Processo de Fundição

Fonte: SOARES, 2000

De acordo com Casotti et al. (2011), o Brasil contava, em 2009, com 1.331 plantas de fundição, ocupando o 6º lugar no *ranking* mundial. A capacidade de produção de fundidos, segundo Brichesi (2015), é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 – Capacidade Instalada de Produção de Fundidos no Brasil em 2010

Produtos	Capacidade instalada (t)
Ferro	3.900.00
Aço	420.000
Alumínio	400.000
Outros não ferrosos	80.000
Total	4.800.000

Fonte: Elaboração própria a partir de BRICHESI, 2015

Dados apresentados em Abifa (2014), relativos à produção física em julho de 2014, permitem uma divisão regional como apresentado abaixo.

Tabela 15 – Participação na Produção de Fundidos por Regiões e Estados do Brasil

Região	Participação na produção (%)
Centro Oeste/MG	18,4
Norte/Nordeste	2,3
Rio de Janeiro	7,6
São Paulo	35,1
Sul	36,6

Fonte: Elaboração própria a partir de ABIFA, 2014

Dos valores acima, pode-se observar que a produção é concentrada na Região Sul e no estado de São Paulo, que respondem por mais de 70% da produção nacional.

D'Ávila Filho (2009) apresenta consumos específicos para os principais grupos de produtos de fundição, a seguir apresentados. Para fundição de ferrosos, são indicados os seguintes valores, por tonelada de peça produzida:

- Coque: 99 kg
- Energia elétrica: 850 kWh
- Óleo combustível: 1,37 GJ
- Para fundição de não ferrosos, inclusive alumínio (também por tonelada de produto):
- Energia elétrica: 2.570 kWh
- Óleo combustível: 1,37 GJ

1.6 NÍQUEL

Os produtos de níquel considerados para o subsetor, conforme indicado em De Farias (2009), são:

- Níquel eletrolítico;
- Matte de níquel.
- Votorantim Metais (2014) indica os seguintes produtos:
- Níquel eletrolítico: com alto grau de pureza (99,9%) para aplicações como galvanoplastia, superligas e ligas não ferrosas;
- Níquel coins: cátodos de níquel eletrolítico produzidos em formato diferenciado, especialmente desenvolvidos para aplicações em galvanoplastia.

Além destes, são indicados subprodutos com valor comercial, como sulfato de sódio anidro e cobalto. Em Nickel Institute (2012), é indicada a distribuição dos usos do mineral na União Europeia, podendo ser verificada a predominância para fabricação de aços inoxidáveis – que não ocorre no Brasil.

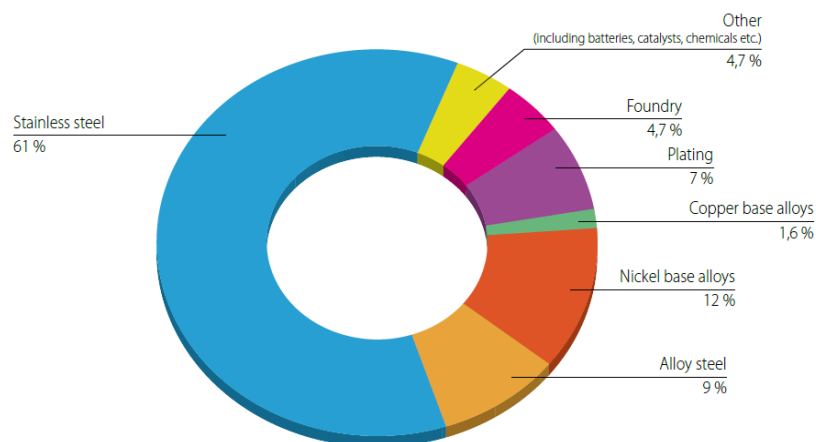


Figura 10 – Usos do Níquel (União Europeia)

Fonte: NICKEL INSTITUTE, 2012

De acordo com Mineral Data (2017), o volume de níquel metálico produzido no Brasil entre 1990 e 2014 é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 – Produção de Níquel Metálico entre 1990 e 2014

Ano	Produção (t)
1990	13.418
1991	13.398
1992	14.670
1993	15.210
1994	16.507
1995	15.676
1996	16.432
1997	19.380
1998	25.748
1999	32.268
2000	31.991
2001	32.624
2002	29.950
2003	30.514
2004	32.001
2005	36.563
2006	36.224
2007	37.380
2008	35.806
2009	32.839
2010	41.978
2011	43.136
2012	66.272
2013	66.098
2014	79.630

Fonte: Elaboração própria a partir de MINERAL DATA, 2017

De Farias (2009) indica que a unidade produtora de níquel metálico em São Miguel Paulista, única localizada no país, utiliza rota hidrometalúrgica, com processo de lixiviação amoniacal, extração por solvente e eletrólise. É processado o carbonato de níquel produzido em outra unidade do grupo, localizada em Niquelândia/GO.

O processo consiste nas seguintes etapas:

- Lixiviação amoniacal;
- Descarte de material de baixo teor;
- Redução em fornos verticais;
- Resfriamento para solubilização dos metais;
- Precipitação e filtragem dos carbonatos (Ni e Co);
- Extração por solvente dos metais (Ni e Co);
- Purificação por eletrólise.

Segundo De Farias (2009), há uma única unidade produtora de níquel eletrolítico, de propriedade da Votoratim Metais, localizada em São Miguel Paulista/SP, com capacidade de produção de 27.000 toneladas anuais.

Em Votorantim Metais (2014), a capacidade produtiva da unidade é indicada como igual a 25.000 toneladas anuais, igualmente para níquel eletrolítico.

Em IEA (2007), é indicada uma intensidade energética primária de 160 GJ/t para produção de níquel. Simões e Bajay (2010) apresentam consumo específico para produção por tonelada de níquel produzido no Brasil, tendo como referência o ano de 2006.

Tabela 17 – Consumo Específico para Produção de Níquel em 2006

Insumos	Unidade	Quantidade
Ácido sulfúrico	kg	255,6
Amônia anidra	kg	287,8
Soda cáustica	kg	131,6
Eletricidade	kWh	32.103
Óleo combustível	GJ	275,04
Carvão vegetal	GJ	0,71
Energia total	GJ	391,32

Fonte: Elaboração própria a partir de SIMÕES; BAJAY, 2010

Pode-se observar que o valor indicado para ao Brasil é extremamente superior ao apontado pela Agência Internacional – que considera a energia primária utilizada na produção (incorporando consumo em transformação e produção de eletricidade, por exemplo). Tal fato denota grande potencial de redução do consumo e mitigação de emissões.

1.7 ZINCO

O subsetor, como considerado neste estudo, contempla as operações de metalurgia e refino, sendo as etapas de mineração e beneficiamento consideradas na publicação *Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de mineração e pelotização* (MCTIC, 2017c).

Votorantim Metais (2014) apresenta os seguintes produtos de suas unidades produtivas (única produtora nacional):

- Zinco SHG: utilizado em processos de galvanização e galvanização eletrolítica, nas formas de lingotes, jumbos e grânulos;
- Zamac: liga, utilizada para fundição sob pressão e centrifugada;
- Ligas especiais (Zn4E, Galfan, ZnNi): processos especiais, desenvolvidas de acordo com solicitação de clientes;
- Pó de zinco: utilizado na produção de pilhas metálicas, tintas e proteção para corrosão;
- Óxido de zinco: obtido pela volatilização do zinco metálico, sendo utilizado para aplicações variadas como vulcanização de borrachas, cosméticos, fosfatados de zinco, medicamentos, vidrados cerâmicos, polímeros e alimentação animal;
- Zinca 200: calcário zincado, utilizado para correção de acidez de solos na agricultura.

As plantas também produzem outros subprodutos de valor comercial, como dióxido de enxofre, ácido sulfúrico e sulfato de cobre.

As principais aplicações do zinco, como indicadas em Ibram (2012) são:

- Proteção do aço contra a corrosão e oxidação nas indústrias automobilística, de eletrodomésticos, da construção civil e telefonia celular;
- Insumo para os setores de vulcanização de borrachas, indústrias cerâmica, têxtil e cosmética;
- Produção de pilhas e baterias;
- Tratamento da deficiência de zinco nos solos;
- Segmentos alimentícios e de medicamentos;
- Componentes eletrônicos.

De acordo com Mineral Data (2017), o volume de zinco metálico produzido no Brasil entre 1990 e 2014 é apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Produção de Zinco Metálico entre 1990 e 2014

Ano	Produção (t)
1990	149.483
1991	157.462
1992	180.414
1993	187.550
1994	187.300
1995	198.976
1996	186.338
1997	185.701
1998	176.806
1999	187.010
2000	191.777
2001	193.061
2002	247.692
2003	262.998
2004	265.987
2005	267.374
2006	272.438
2007	265.126
2008	248.874
2009	242.136
2010	288.108
2011	284.770
2012	246.526
2013	242.000
2014	246.000

Fonte: Elaboração própria a partir de MINERAL DATA, 2017

Segundo Dos Santos (2009), a tecnologia utilizada no Brasil para produção de zinco é a eletrolítica RLE (ustulação, lixiviação e eletrólise), sendo que a unidade localizada em Juiz de Fora/MG emprega processo convencional para processamento do concentrado de minério sulfetado, importado, enquanto unidade industrial de Três Marias/MG utiliza processo integrado silicato-sufeto.

O processo RLE utilizado no Brasil consiste nas seguintes etapas:

- Ustulação: conversão em altas temperaturas (650 a 900°C) do concentrado de sulfeto de zinco em concentrado de óxido de zinco que pode ser lixiviado em solução de ácido sulfúrico;
- Lixiviação: Consiste na remoção do zinco por sua dissolução em líquidos, sendo utilizados processos ácidos (ferrita) ou neutros (óxidos de zinco) e resultando em produto intermediário denominado licor. Ambos os processos são realizados em tanques com agitação;
- Purificação: visa à remoção de metais mais nobres que o zinco metálico, através da reação de cementação com pó de zinco;

Uma característica do processo RLE é a alta demanda por eletricidade, em torno de 3,5 MWh por tonelada produzida. A Figura 11 ilustra o processo.

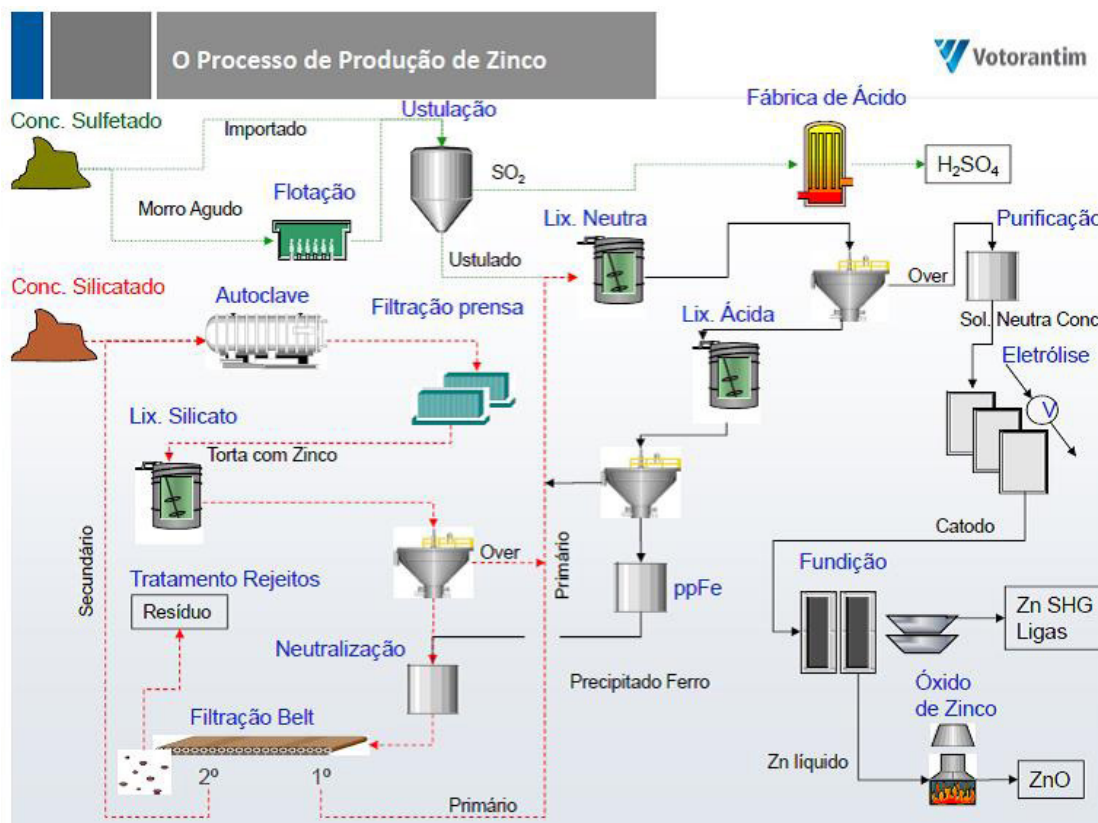


Figura 11 – Processo de Produção de Zinco

Fonte: Aires, 2014

De acordo com Dos Santos (2009), a única produtora de zinco metálico no país é a Votorantim Metais Zinco, que tem duas unidades industriais:

- Três Marias/MG, com capacidade instalada de 180.000 t/ano;
- Juiz de Fora/MG, com capacidade instalada de 85.000 t/ano.

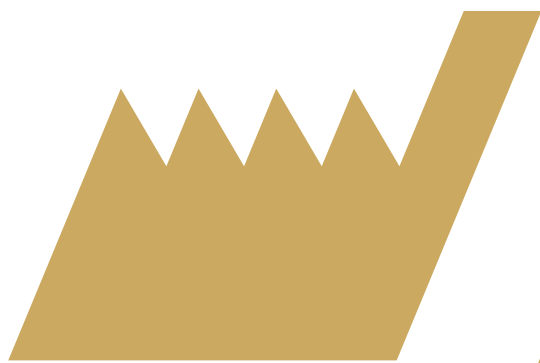
Simões e Bajay (2010) apresentam o consumo específico para produção de tonelada de zinco no Brasil em 2006, conforme Tabela 19.

Tabela 19 – Consumo Específico para Produção de Zinco no Brasil em 2006

Insumos	Unidade	Quantidade
Concentrado de silicato	t	1,23
Concentrado de sulfeto	t	0,97
Ácido sulfúrico	t	0,54
Pó de zinco	kg	35,70
Elettricidade	kWh	4.617
Óleo combustível	GJ	1,45
Energia total	GJ	18,07

Fonte: Elaboração própria a partir de SIMÕES; BAJAY, 2010

Dados em IEA (2007) indicam consumo de energia primária de 50 GJ/t zinco, enquanto os valores da Tabela 19 resultam em aproximadamente 18 GJ/t. Tal distância pode ser explicada pelo critério adotado pela Agência, que incorpora o consumo de energia para produção de eletricidade; mesmo assim, o valor apresentado para o Brasil indica uma alta eficiência energética na produção nacional.



Melhores tecnologias disponíveis aplicáveis aos processos produtivos do setor

Capítulo

2

2 MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS APLICÁVEIS AOS PROCESSOS PRODUTIVOS DO SETOR

Semelhantemente à caracterização, a descrição das melhores tecnologias disponíveis (MTD) para efficientização energética e/ou redução de emissões de GEE será realizada por subsetor. Excetua-se o subsetor de chumbo, para o qual não foram encontradas informações.

Sempre que possível, serão apresentados parâmetros de potencial de economia de energia, redução de emissões de GEE, assim como custos de investimento e custos de operação e manutenção (O&M) das tecnologias.

2.1 ALUMÍNIO

Em EC (2014) são apresentadas as MTD de produção de alumina/alumínio, visando à redução de emissões de GEE. Para a produção de alumina, são indicados:

- Emprego de trocadores de calor de placas, permitindo a recuperação de calor do fluxo de liquor para área de precipitação, com maior eficiência que resfriamento *flash*;
- Calcinadores de leito fluidizado, com maior eficiência térmica que fornos rotativos (aproveitando calor recuperado da alumina e do gás exausto). Calcinadores rotativos podem ser adaptados com adequação do projeto do queimador, permitindo o pré-aquecimento do material a ser alimentado. Um potencial de redução do consumo de energia da ordem de 30 a 35% pode ser obtido com emprego de calcinadores de leito fluidizado;
- Digestor em corrente única, dispensando o uso de vapor vivo e aquecendo o material à temperatura de digestão (para isso, são utilizados digestores em tubo). Apenas duas plantas no mundo utilizam esta tecnologia.

Para a produção de alumínio primário, são indicadas as seguintes tecnologias:

- Alimentação automática de alumina, em múltiplos pontos;
- Controle computadorizado do processo de eletrólise, com monitoramento de parâmetros operacionais;
- Supressão automática do efeito anodo (picos de energia);
- Uso de pasta com menor conteúdo de piche, para preparação de anodos;
- Projeto otimizado de alimentadores, reduzindo a coleta de gases (necessário tratamento posterior);
- Maior precisão no ajuste da altura de anodos.

Os custos de investimento, segundo a fonte, variam muito para cada planta, tendo sido observados valores da ordem de US\$ 250 a 600/t (capacidade de produção).

MDIC (2012), a partir de observação de que a indústria brasileira de alumínio apresenta consumo próximo à média mundial, descreve algumas opções tecnológicas que contribuem positivamente para a redução das emissões, a saber:

- Controle do nível de banho eletrolítico;
- Tecnologia e procedimentos para controle dos efeitos anódicos;
- Tecnologia e procedimentos para predição e supressão dos efeitos anódicos;
- Tecnologia e procedimentos de adição de alumina nas cubas eletrolíticas;
- Formulação dos insumos componentes do anodo;
- Tecnologia e procedimentos para colocação e remoção de pinos no anodo;
- Eficiência do sistema de exaustão das cubas eletrolíticas.

Na produção de alumina, MDIC (2012) indica as seguintes alternativas:

- Utilização de sistemas para calcinação de última geração (leito fluidizado e *flash*), que permita redução de até 30% do consumo de energia nesta etapa;
- Emprego de bauxita de melhor qualidade, o que dependeria no entanto de fatores geográficos e minerais.

Vallac et al. (2011) descrevem tecnologias para redução das emissões na fabricação de alumínio primário, sem apresentar custos associados. Para os autores, merecem ser destacadas as seguintes:

- Drenagem contínua de cátodos (*wetted drained cathodes*). A fabricação de alumínio com tecnologia Hall-Héroult obriga que, periodicamente e com interrupção do processo, seja feita drenagem do alumínio fundido. O emprego de cátodos de diborido de titânio permite a drenagem contínua da célula, com redução do consumo de energia (uma vez que o posicionamento de cátodos e anodos pode ser mais bem calibrada) de 15%;
- Uso de anodos inertes. No processo Hall-Héroult, os anodos de carbono são consumidos e periodicamente substituídos, e durante a redução há liberação de PFC e CO₂. O emprego de anodos inertes permite redução direta; apesar do maior requisito energético (em torno de 5%), as emissões de processo seriam reduzidas em até 40%.

IEA (2009) indica oportunidades de redução do consumo de energia na fabricação de anodos,⁵ sendo que novas plantas podem consumir 70% menos que a média mundial verificada àquela data. É destacada, ainda, a grande oportunidade de crescimento na reciclagem de alumínio – o que não caracteriza produção de alumínio primário e, portanto, excluída desta análise.

5 No Brasil, é suposto que o consumo de coque para produção de anodos seja contabilizado como consumo final, na estrutura do Balanço Energético Nacional. Idealmente, o uso de coque para esta finalidade deveria ser indicado como consumo não energético.

Nedo (2008) apresenta, especificamente para a produção de alumínio, a utilização de inversores de frequência e tensão para controle de bombas e ventiladores em motores, com redução do consumo de 52% e investimento aproximado de US\$ 280 mil, permitindo retorno em 1,5 ano (para uma planta de 1.300 t/dia).

Em EERE (2007), é indicado que o sistema Hall-Héroult pode ser aperfeiçoado com uso das seguintes tecnologias:

- *Wetted drained cathodes*, com redução de até 20% no consumo de eletricidade;
- Anodos inertes e eliminação de anodos de carbono, podendo ser alcançada redução de 31% do consumo de eletricidade;
- Combinação de anodos inertes e drenagem contínua (*wetted drained cathodes*), com economia de até 41% do consumo de eletricidade;
- Emprego de células multipolares, em vez do arranjo atual (anodo e cátodo únicos), em que redução de 40% no consumo foi verificada em módulo experimental – abandonado, pelos elevados custos de preparação.

Em Usepa (2007), é destacado que a produção norte-americana de alumínio apresentou significativa redução no consumo específico de energia nos últimos 15 anos, em decorrência do fechamento de plantas defasadas tecnologicamente – que utilizavam eletrodos do tipo Soderberg, que correspondem a 44% do parque brasileiro (MDIC, 2012) – e como resultado da adoção de práticas de gestão energética, como:

- Melhorias na composição química do banho de criolita;
- Instalação de novos sistemas de alimentação de alumina;
- Treinamento de operadores de células;
- Uso de sistemas computadorizadas de controle.

As duas últimas práticas, adicionalmente, contribuíram para a redução do efeito anodo – picos de tensão causados pela variação na composição química do banho eletrolítico. Não são indicados custos, e há ressalva de que o setor encontra-se em declínio nos EUA, especialmente por conta dos altos custos da eletricidade no país.

A substituição de *smelters* da tecnologia Soderberg pela tecnologia Prebake, permite reduzir o consumo de energia entre 12-15%. O custo de investimento situa-se em torno de US\$ 2.600/t de capacidade instalada de produção de alumínio primário (USEPA, 2007; KERMELI et al., 2015).

Em Austrália (2000), são apresentadas alternativas para otimizar o uso de energia na fabricação de alumínio. Para produção de alumina, é indicado:

- Aumento da eficiência térmica, pelo desenvolvimento de estratégias de otimização e integração energéticas no refino da alumina, em etapas como calcinação e evaporação;
- Otimização da cogeração de energia, com reconfiguração de centrais existentes (há indicação de que todas as refinarias de alumina utilizam cogeração, o que não ocorre no Brasil).

Para produção de alumínio, é indicado:

- Otimização no sistema de coleta de fumaça;
- Otimização na produção de anodos (com registro de que foram observadas variações de 27% no consumo específico das plantas do país);
- Otimização na etapa de moldagem de produtos.

Kermeli et al. (2015) apresenta tecnologias de efficientização energética que poderiam ser aplicadas para reduzir emissões de GEE na produção de alumínio.

Na etapa de fundição do alumínio a otimização da operação de células consiste em reduzir o efeito ânodo por meio do controle do banho eletrolítico. O consumo de eletricidade por ser reduzido em 2 MWh/t alumínio, com custo de investimento entre US\$ 275 e US\$ 400/t alumínio.

Na etapa de produção de ânodos e fundição de lingotes podem ser aplicadas tecnologias de efficientização energética. A otimização do fluxo de ar de combustão é aplicada para reduzir o excesso de ar, resultando na otimização da razão ar/combustível. A economia de energia situa-se entre 10-25%, com custo de investimento entre US\$ 2,2-3,0/t alumínio. O controle de pressão e vazamento em fornos resulta em economia entre 5-10% de energia, com custo de investimento entre US\$ 1,4-1,8/t alumínio. Por sua vez, o uso de materiais isolantes em fornos reduz as perdas de calor ao meio ambiente através de convecção e condução. As economias de energia estão na faixa de 2-5%, com custo de investimento entre US\$ 0,4-0,6/t alumínio. A recuperação do calor pode ser obtida com o preaquecimento do ar de combustão. As economias de energia variam entre 10 e 30%, com custo de investimento estimado em US\$ 8-12/t alumínio. Finalmente, motores podem ser otimizados por meio da instalação de dispositivos de controle e inversores de frequência. A economia de energia situa-se entre 5-10%, com custo de investimento entre US\$ 6,2-7,8/t alumínio.

2.2 COBRE

As MTD para produção de cobre primário são apresentadas em EC (2014). Especificamente, as relacionadas à redução do consumo de energia são:

- Uso de queimadores regenerativos, trocadores de calor e caldeiras de recuperação, para aproveitamento de calor liberado em diferentes etapas do processo;
- Preaquecimento do gás combustível e ar de combustão, com aproveitamento de gases exaustos;
- Enriquecimento, com oxigênio, do ar para combustão na etapa de fundição;
- Uso adequado de revestimento e isolamento em fornos e tubulações de vapor e água quente;

- Preaquecimento de carga nas etapas de fundição, com recuperação de calor de gases exaustos;
- Armazenamento adequado do concentrado, evitando acumulação de umidade;
- Secagem prévia de concentrado, reduzindo a quantidade de energia na etapa de fundição;
- Recuperação de monóxido de carbono liberado em etapas de refino e fusão para produção de vapor ou acionamento de turbinas.

Kogashi (2008) propõe a recuperação de calor em diferentes etapas do processo metalúrgico do cobre para secagem de concentrado. Segundo o autor, considerando processamento médio de 5.000 toneladas mensais de concentrado, investimentos da ordem de R\$ 3,9 milhões permitem economia anual de R\$ 980 mil com energia, com tempo de retorno próximo a cinco anos.

Em Nedo (2008), é descrito que o aumento da eficiência em fornos de fundição pelo enriquecimento do ar com oxigênio permite redução do consumo de combustíveis em 50%. Segundo a fonte, a medida é de grande atratividade financeira, requerendo investimento de US\$ 50 mil (para planta com capacidade de 36.000 t/ano) e retorno do investimento em apenas 0,1 ano.

EC (2001) apresenta as tecnologias de fundição e conversão oferecidas por Mitsubishi e Outokumpu/Kennecot⁶ como as melhores disponíveis, àquela data, para a produção de cobre primário.

2.3 ESTANHO

EC (2014) indica as seguintes possibilidades para processos de fabricação de estanho metálico, consideráveis como melhores tecnologias:

- Controle de temperatura de fornos, com aumento da eficiência;
- Recuperação de calor dos gases exaustos de fornos (se de produção contínua) para produção de vapor ou água quente.

2.4 FUNDIDOS

Um estudo detalhado de oportunidades de redução de emissões em uma fundição norte-americana é apresentado por Cannon (2014). Em linhas gerais, as ações devem buscar:

- A redução do uso de produtos carbonados;
- Redução no consumo de energia;
- Focar no forno e domo.

A seguir, são indicadas as medidas específicas de redução de emissões, incluindo a substituição de insumos, e não apenas a redução do consumo de energia. Também deve ser notado que a planta avaliada utiliza coque como fonte energética, que é pouco usual no Brasil.

6 A unidade da Paranapanema utiliza tecnologia da Outokumpu, porém não exatamente a indicada na referência.

Tabela 20 – Medidas para Redução de Emissões em Fundição

Medidas	Redução nas emissões (%)
Recirculação e reaproveitamento de H ₂ e CO em forno de cúpula (gás liberado na fundição)	15
Substituição (parcial) de coque por antracito	5
Substituição (parcial) de coque por gás natural	13
Redução do uso de areia (moldes) por meio de processo hidroacústico	5
Redução do volume de sucata por meio de tecnologias avançadas de oxidação	4
Redução da infiltração de ar frio pela recirculação de ar nos fornos	20
Captura de CO ₂ em produtos porosos e cinzas	5

Fonte: Elaboração própria a partir de CANNON, 2014

Eronen et al. (2012) apresentam uma série de medidas de aumento da eficiência energética, aplicáveis a fundições, tendo como referência estudos realizados em fundições europeias. Os autores ressaltam que o indicado serve como referência inicial, pois, devido à diversidade de características dessa indústria, nem todas as medidas podem ser aplicáveis a uma planta específica, bem como outras medidas podem ser identificadas.

As melhores práticas são as seguintes:

- Sistemas inteligentes para controle de compressores;
- Armazenamento de calor;
- Preaquecimento de conchas e cadinhos;
- Sistemas de monitoramento de energia;
- Filtragem de ar de baixa pressão;
- Queima com oxigênio integral (*oxyfuel*);
- Recuperação de calor para secagem;
- Controle de ventiladores;
- Otimização de pontos de operação de fornos;
- Aquecimento *stand-by* de fornos;
- Controle de temperatura em fornos de indução;
- Controle de potência em bombas;
- Armazenamento abrigado de coque;
- Redução de perdas térmicas em fornos de fusão e tratamento;
- Redução de vazamentos e infiltração de ar em fornos;
- Recuperação de calor (com rodas entálpicas e trocadores de placas);
- Redução de vazamentos em sistemas de ar comprimido;
- Recuperação de calor em compressores de ar (ar e óleo);
- Geração de eletricidade com sistemas Rankine orgânicos.

As recomendações permitiriam economia entre 17% e 24% do total de energia consumido. Para cada fundição avaliada, a economia média com energia é de € 170 mil, com tempos de retorno variáveis – em alguns casos, inferiores a um ano.⁷

Pesquisa apresentada em BEE (2011), em fundições indianas, resultou em diferentes recomendações, resumidas na Tabela 21. Os potenciais de economia são referidos ao consumo de cada sistema ou equipamento.

Tabela 21 – Medidas de Conservação de Energia em Fundições

Medida	Potencial de economia (%)	Tempo de retorno do investimento (anos)
Instalação de domo em segmentos	15	1,5 – 2
Substituir forno rotatório por forno a indução	25	1,5
Instalação de bancos de capacitores automáticos	10 – 15	0,5
Instalação de tampo isolado em fornos a indução	2	1
Isolamento térmico em domo e nas paredes dos fornos	5 – 7	0,5
Controle da vazão do gás exausto e redução do excesso de ar	5 – 7	0,5
Uso de motores eficientes em substituição a rebobinados	3 – 5	1,5
Uso de lâmpadas eficientes	40	2

Fonte: Elaboração própria a partir de BEE, 2011

Winrock (2006) apresenta recomendações para aumento da eficiência energética em pequenas fundições indianas, onde o carvão é uma relevante fonte energética. As principais medidas indicadas são listadas a seguir.

Tabela 22 – Medidas de Eficiência Energética em Fundições

Seção / processo	Potencial de economia de energia (%)	Descrição
Preparação do forno	1 – 1,5	Ajuste da altura do leito (combustível) Ajuste da carga Limpeza de aberturas (ventaneiras)
Operação do forno	10 – 12	Manutenção da carga Eliminação de superaquecimento

⁷ A fonte não apresenta uma consolidação dos investimentos.

Seção / processo	Potencial de economia de energia (%)	Descrição
Fornos de indução	1 – 2	Redução do ciclo de operação Eliminação de superaquecimento Manutenção de agitação (dependendo da liga)
Sistema de ar comprimido	6 – 10	Instalação em local adequado Dimensionamento de tubulações Eliminação de vazamentos
Sistema de distribuição de eletricidade	0,5 – 1	Dimensionamento adequado de transformadores Instalação de capacitores Segregação de cargas

Fonte: Elaboração própria a partir de WINROCK, 2006

Cipec (2003) destaca que o consumo nos fornos é o mais representativo em uma fundição, correspondendo a 78% do consumo total da fábrica. As principais oportunidades identificadas para eficiência energética são:

- Preaquecimento da carga;
- Seleção e ajuste adequados para queimadores;
- Isolamento térmico de fornos.
- Também são apontadas outras medidas, como:
- Uso de controles computadorizados;
- Prevenir infiltração de ar no forno;
- Secagem de moldes.

2.5 NÍQUEL

Tecnologias consideradas as melhores disponíveis na produção de níquel são apresentadas em EC (2014), sendo elas:

- Uso de ar enriquecido por oxigênio em fornos de fusão;
- Uso de oxigênio em conversores;
- Caldeiras de recuperação de calor, aproveitando corrente de gás exausto das etapas de fusão e conversão;
- Uso do gás exausto como fonte térmica;
- Recuperação de calor de correntes de soluções.

Pease (2007) indica oportunidades de ganhos significativos na etapa de moagem de minérios de níquel, que podem atingir 50% dos valores médios usuais, e benefícios adicionais na redução de energia no processamento posterior; no entanto, essa alternativa se refere ao setor de mineração para efeito deste estudo.

Matshameko (2001) investiga oportunidades na etapa de fundição de cobre e níquel, destacando o uso eficiente de motores elétricos como forma evidente de redução do consumo. Como possibilidades a serem aplicadas, menciona:

- Uso de queimadores de alta eficiência;
- Uso de catalisadores avançados;
- Uso de inversores de frequência para acionamentos;
- Correção do fator de potência;
- Programação de operação, evitando o uso de equipamentos em horários de energia mais cara.

EC (2001) indica que não é possível afirmar a viabilidade de emprego de um único processo para todos os estágios de produção dos metais considerados,⁸ mas apresenta o processo pirometalúrgico como a MTD. Convém destacar que no Brasil é utilizada a tecnologia hidrometalúrgica.

Riekkola-Vanhanen (1999) indica que as MTD consistem em unidades de produção otimizadas, que devem ser projetadas para operação integrada. As unidades devem considerar:

- Estocagem de concentrados em armazéns;
- Secagem de concentrado com secadores a valor de múltiplas serpentinas;
- Sistema de pesagem para alimentação de fornos de fundição;
- Emprego da tecnologia DON⁹ para fundição;
- Produção de ácido sulfúrico a partir de gás exausto dos fornos, com emprego de planta de duplo contato.

2.6 ZINCO

EC (2001) indica como melhores tecnologias para produção de zinco primário:

- Emprego de cátodos permanentes;
- Redução da umidade nas células eletrolíticas.

O documento destaca, ainda, que a tecnologia de refino por ustulação, lixiviação e eletrólise (RLE) pode ser considerada como a melhor disponível, observados os pontos anteriores.

Fugleberg (1999) afirma que o consumo de energia na fabricação de zinco é a eletricidade, principalmente na etapa de eletrólise, em que o consumo cresce com a densidade de corrente – a 400 A/m² são requeridos 3.000 kWh/t de zinco, enquanto a 640 A/m² o consumo cresce para 3.400 kWh/t de zinco. O consumo pode ser reduzido, portanto, com menor densidade de corrente. Porém, esta solução é aplicável apenas para novas plantas; a substituição de uma unidade em operação por uma

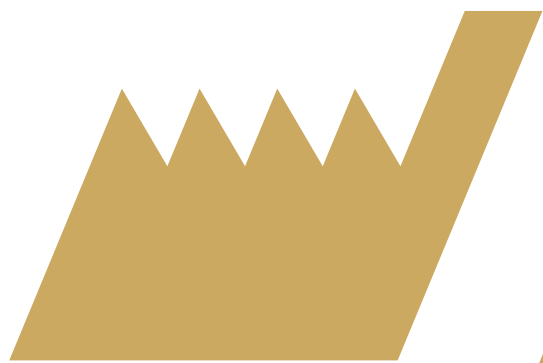
8 O texto aborda de forma integrada a produção de níquel e cobalto.

9 Direct Outokumpu Nickel (DON) Flash Smelting Process, para concentrados sulfurosos (rota pirometalúrgica).

de menor densidade de corrente não é justificável economicamente apenas pela redução do consumo de energia. Com relação ao uso de vapor, o autor indica redução em seu consumo com o emprego de trocadores de calor e processos operando em temperaturas mais baixas.

Como recomendação geral, para redução das emissões da fabricação de zinco eletrolítico (incluindo as associadas a poluição local), tem-se:

- Transporte fechado (abrigado) para concentrados, poeiras e outros materiais;
- Recuperação de prata ou outros metais nobres;
- Lixiviação de concentrados em pressões elevadas.



Cenários de referência, baixo carbono e baixo carbono com inovação

Capítulo

3

3 CENÁRIOS DE REFERÊNCIA, BAIXO CARBONO E BAIXO CARBONO COM INOVAÇÃO

Este capítulo apresenta os cenários de referência (REF), baixo carbono (BC) e baixo carbono com inovação (BC+I), com foco no consumo de energia e nas emissões de GEE, construídos para o setor de metalurgia de metais não ferrosos. O horizonte de projeção é de 2050, sendo considerados parâmetros reais de consumo de energia e fatores de emissão do grid elétrico para o período de 2011 a 2015 (MCTI, 2015; EPE, 2017). Considera-se 2010 o ano-base para as projeções, tendo em vista a ampla disponibilidade de parâmetros, em particular relativos a produção, consumo de energia e emissões (MCTIC, 2016; EPE, 2017).

A técnica de cenários empregada neste estudo não objetiva a realização de previsões para o setor. Trata-se de analisar efeitos, em particular sobre emissões, de estados futuros possíveis derivados dos pressupostos considerados na modelagem.

O cenário REF trata da evolução tendencial do consumo de energia e emissões de GEE, ou seja, com pequenas alterações estruturais em relação aos anos anteriores. Sua construção se deu, primeiramente, por meio de pesquisas dos dados históricos do setor, no que concerne ao consumo de energia por fonte, consumo específico e usos finais de energia, aspectos sintetizados no capítulo 1. Em seguida, foram determinados critérios e premissas que auxiliaram na projeção do cenário em questão, a qual se tratou de uma abordagem bottom-up, ou, como o próprio nome diz, de baixo para cima. De acordo com o então Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2010), esse tipo de abordagem permite detectar onde e como ocorrem as emissões, favorecendo o estabelecimento de medidas de mitigação.

O cenário BC foi construído considerando a penetração de algumas das MTD descritas no segundo capítulo, a partir de critérios que serão discutidos posteriormente. Por sua vez, no cenário BC+I, é avaliado o efeito sobre as emissões de GEE decorrente da maturação de tecnologias que se encontram em estágio de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Trata-se de um cenário com grande incerteza, que objetiva exclusivamente apontar o papel que as tecnologias de ruptura podem desempenhar no caso de se tornarem comprovadas e economicamente viáveis (DoD, 2011).

A seguir, serão descritas as premissas assumidas na construção dos cenários, e, em seguida, serão apresentados os resultados em termos de consumo de energia e emissões de GEE. Exclusivamente no cenário BC, serão apresentados os potenciais e custos marginais de abatimento das MTD consideradas.

3.1 CENÁRIO REF

3.1.1 PREMISSAS

A construção do cenário REF do setor de metalurgia de metais não ferrosos se deu, primeiramente, por meio de pesquisas dos dados históricos do setor, no que concerne ao consumo de energia por fonte, consumo específico de energia, produção, crescimento econômico, número de plantas existentes e capacidade de produção.

A análise do perfil tecnológico foi desagregada entre os subsetores de alumínio e demais metais não ferrosos, em que estão incluídos as indústrias produtoras de chumbo, cobre, estanho, fundidos, níquel e zinco. Assim, as tecnologias consideradas para o cenário REF foram divididas entre esses dois subsetores. A relação dessas tecnologias pode ser vista no Quadro 1.

Quadro 1 – Tecnologias Consideradas no Cenário REF

Alumínio
Cubas eletrolíticas – Soderberg
Cubas eletrolíticas – Prebake
Motores elétricos
Elétricos diversos
Caldeiras a óleo
Fornos a óleo combustível
Demais Metais Não Ferrosos
Fornos a gás natural
Fornos a carvão vegetal
Fornos elétricos
Motores elétricos
Elétricos diversos
Caldeiras a GLP
Cubas eletrolíticas

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI, 2010b; EPE, 2017

De acordo com a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL, 2011), a participação das tecnologias Soderberg e Prebake na produção de alumínio primário no Brasil, em 2010, foram de 40% e 60%, respectivamente. Diante disso, fez-se necessário considerar taxas de penetração dessas tecnologias no período de 2010 a 2050, conforme Tabela 23. Optou-se por manter, conservadoramente, a proporção tecnológica observada em 2010 até 2030.

Tabela 23 – Penetração das Tecnologias Soderberg e Prebake no Cenário REF

Anos	Penetração por tecnologia (%)	
	Soderberg	Prebake
2010	40	60
2015	40	60
2020	40	60
2025	40	60
2030	40	60
2035	37	63
2040	35	65
2045	33	67
2050	30	70

Fonte: Elaboração própria

Em seguida, foi considerado o consumo energético para o ano-base de 2010, obtido no BEN (EPE, 2017), assim como a distribuição do consumo por combustível por uso final, baseada em CNI (2010b). Estes últimos parâmetros podem ser vistos na Tabela 24.

Tabela 24 – Distribuição do Consumo Energético por Fontes e Uso Final

Fontes de energia	Distribuição por uso final				
	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Iluminação	Outros usos
Gás natural	-	-	100%	-	-
Carvão mineral	-	-	100%	-	-
Óleo combustível	-	51%	49%	-	-
GLP	26%	37%	37%	-	-
Eletricidade	30%	24%	31%	15%	-
Carvão vegetal	-	-	100%	-	-
Outras fontes	-	-	100%	-	-

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI, 2010b; EPE, 2017

A projeção da demanda de energia do setor foi feita a partir da distribuição do consumo energético por uso final e fontes no ano-base de 2010 (Tabela 24), utilizando taxas de crescimento do produto interno bruto setorial elaboradas por Haddad (2015).

Tabela 25 – Taxas Médias de Crescimento Aplicadas na Projeção de Demanda Energética

Período	Crescimento Médio Anual
2010-2015	-0,36%
2016-2020	0,78%
2021-2025	1,57%
2026-2030	1,48%
2031-2035	1,36%
2036-2040	1,24%
2041-2045	1,13%
2046-2050	1,03%

Fonte: Elaborado a partir de HADDAD, 2015

No âmbito da modelagem integrada dos cenários de emissões de GEE, que tem seus resultados publicados no documento Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono, é considerada uma visão alternativa de crescimento do PIB (MCTIC, 2017b). Esse cenário incorpora efeitos recentes da crise econômica nos agregados macroeconômicos, que por certo afetarão negativamente o crescimento do setor de metalurgia de metais não ferrosos, reduzindo o consumo de energia e as emissões de GEE em relação aos níveis deste cenário REF.

Utilizando-se a distribuição do consumo de energia e taxas de crescimento apresentadas na Tabela 24 e Tabela 25, respectivamente, e, particularmente no subsetor de alumínio, consumos específicos da tecnologia Soderberg de 59,8 GJ/t alumínio e tecnologia Prebake de 51,6 GJ/t alumínio, é possível projetar o consumo de energia do setor de metalurgia de metais não ferrosos até 2050.

A projeção das emissões de CO₂ se baseou na evolução da demanda energética para o cenário REF. Foram considerados os fatores de emissão default do IPCC constantes da Tabela 26, que também foram utilizados na Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – TCN (MCTIC, 2016). Mais que isso, foram contabilizadas emissões de processo do setor (MCTIC, 2016). Por fim, foram desconsideradas emissões do carvão vegetal, posto que o fator de emissão é nulo, e, no caso da origem de florestas nativas, as emissões não foram medidas para evitar dupla contagem com o setor de Afolu.

Tabela 26 – Fatores de Emissão de CO₂ pelo Uso de Energéticos (Queima de Combustíveis)

Combustível	Fator de Emissão (tCO ₂ /TJ)
Gás natural	56,1
GLP	63,1
Óleo combustível	77,4
Carvão mineral	94,6
Outras fontes	77,4

Fonte: Elaboração própria com base em IPCC, 2006; MCTIC, 2016

Para a eletricidade proveniente do Sistema Interligado Nacional (SIN), foram utilizados os fatores de emissão informados pelo MCTI (2015) (Tabela 27). Para o período de 2017 a 2050, os valores são oriundos da modelagem integrada dos cenários de emissões do projeto. Esses fatores de emissão são apresentados em valores médios por períodos, entre 2017 e 2050 (MCTIC, 2017a; 2017b).

Tabela 27 – Fatores de Emissão de CO₂ do SIN

Anos ou Períodos	Fatores de emissão (tCO ₂ /MWh)
2010	0,0512
2011	0,0292
2012	0,0653
2013	0,0960
2014	0,1355
2015	0,1244
2016	0,0817
2017-2020	0,0492
2021-2025	0,0468
2026-2030	0,0906
2031-2035	0,0993
2036-2040	0,1333
2041-2045	0,1920
2046-2050	0,2525

Fonte: Elaborado a partir de MCTI, 2015; MCTIC, 2017a; 2017b

Percebe-se significativo aumento do fator de emissão do grid elétrico a partir 2035, o qual decorre do deplecionamento do potencial hidrelétrico remanescente. Assim, a geração elétrica excedente, em um cenário REF, no qual inexistem políticas adicionais de baixo carbono, passa a ser atendida por fontes de energia mais baratas e com maior intensidade carbônica, em particular carvão mineral (MCTIC, 2017a; 2017b)

3.1.2 RESULTADOS

A partir das premissas descritas, inicialmente, chegou-se à demanda de energia para o setor até 2050. Percebe-se um incremento no consumo energético de 33% no período, com destaque para a queda no consumo observada entre 2010 e 2015, a qual decorre dos fatores citados na seção 1.1.

A diferença relativa ao ano-base com relação a EPE (2017) decorre da metodologia *bottom-up* utilizada na construção dos cenários, tendo em vista a necessidade de mapear oportunidades de mitigação ao nível de tecnologias para avaliação dos potenciais e custos de abatimento no cenário BC.

Tabela 28 – Consumo Energético do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário REF

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Consumo de energia (mil tep)	6.381	5.536	5.756	6.221	6.696	7.163	7.620	8.062	8.486

Fonte: Elaboração própria

A partir do consumo energético, foram aplicados os fatores de emissão constantes nas tabelas 26 e 27 para projetar as emissões totais de GEE do setor de metalurgia de metais não ferrosos até 2050 (Tabela 29).

Observa-se um incremento nas emissões de 129% no período de 2010 a 2050 no cenário REF. Destacam-se a queda nas emissões entre 2015 e 2020, que decorre da crise enfrentada pelo subsetor de alumínio em âmbito doméstico, e o aumento a partir de 2035, fruto do aumento na participação de carvão na geração de eletricidade.

Tabela 29 – Emissões de GEE do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário REF

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões de GEE (MtCO ₂ e)	11,3	12,4	10,1	10,8	13,5	14,9	17,5	21,5	25,9

Fonte: Elaboração própria

3.2 CENÁRIO BC

3.2.1 PREMISSAS

O cenário BC foi construído a partir da penetração no subsetor de alumínio de algumas MTD descritas no capítulo 2. Essa priorização decorre do relevante potencial de eficientização energética aplicável à produção de alumínio reportado pela literatura científica (EERE, 2007; USEPA, 2007; VALLAC et al., 2011; MDIC, 2012; EC, 2014; KERMELI et al., 2015).

Para a seleção das MTD que poderiam ser aplicadas no subsetor de alumínio foram considerados dois critérios: i) tecnologias que apresentem nível de prontidão tecnológica (TRL) igual ou superior a 7 (DoD, 2011); ii) tecnologias que tenham maior potencial de redução de emissões de GEE.

Em função desses pressupostos, será considerada, no cenário BC, a introdução das atividades de baixo carbono listadas no Quadro 2.

Quadro 2 – MTD Consideradas no Cenário BC

MTD
Otimização de motores
Troca de <i>smelter</i> Soderberg por Prebake
Otimização da operação de células
Otimização do fluxo do ar de combustão
Controle de pressão e vazamento em fornos
Uso de materiais isolantes em fornos
Recuperação de calor

Fonte: Elaboração própria

Todas as tecnologias listadas foram comprovadas e implantadas no subsetor de alumínio em âmbito internacional. Por esse motivo, considera-se sua penetração a partir de 2016.

Em seguida, considerou-se uma evolução de eficiência energética, com relação ao cenário REF, refletida em termos do consumo específico dos *smelters* Soderberg e Prebake, que chegariam a 57,6 GJ/t alumínio e 49,7 GJ/t alumínio em 2050, respectivamente (Tabela 30).

Tabela 30 – Consumo Específico dos *Smelters*

Anos	Consumo Específico dos <i>Smelters</i> (GJ/t alumínio)	
	Soderberg	Prebake
2010	59,8	51,6
2015	59,8	51,6
2020	59,8	51,6
2025	59,8	51,6
2030	57,6	50,4
2035	57,6	50,4
2040	57,6	50,4
2045	57,6	49,7
2050	57,6	49,7

Fonte: Elaboração própria

Com relação à troca de *smelters* Soderberg por Prebake, foi considerado custo de investimento de US\$ 2.600/t de capacidade instalada de produção de alumínio primário (KERMELI et al., 2015). Quanto às medidas de eficiência energética, tem-se na Tabela 31 potenciais de economia de energia, assim como custos e tempo de via útil, os quais serão considerados na seção 3.2.3 para mensurar os custos marginais de abatimento.

Tabela 31 – Potenciais e Custos das MTD de Eficientização Energética Consideradas no Cenário BC

MTD	Potencial de economia de energia	Custo de investimento (US\$/t alumínio)
Otimização da operação de células	2 MWh/t	325
Otimização do fluxo do ar de combustão	17,5%	3
Controle de pressão e vazamento em fornos	7,5%	1,5
Uso de materiais isolantes em fornos	3,5%	0,5
Recuperação de calor	20%	10
Otimização de motores	7,5%	1,8

Fonte: Elaboração própria com base em KERMELI et al., 2015

Por fim, adotaram-se os mesmos procedimentos e taxas de crescimento do PIB relativas ao cenário REF para projetar a demanda de energia e emissões de GEE no cenário BC.

3.2.2 RESULTADOS

Aplicando-se os potenciais de economia da energia das MTD, pôde-se chegar ao consumo de energia até 2050 no cenário BC. Verifica-se que o crescimento no período de 2010 a 2050 é de 18% (Tabela 32) e que há redução, com relação ao cenário REF, de 11% em 2050 (Figura 12).

Tabela 32 – Consumo Energético do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário BC

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Consumo de energia (mil tep)	6.381	5.536	5.411	5.816	6.227	6.626	7.010	7.336	7.552

Fonte: Elaboração própria

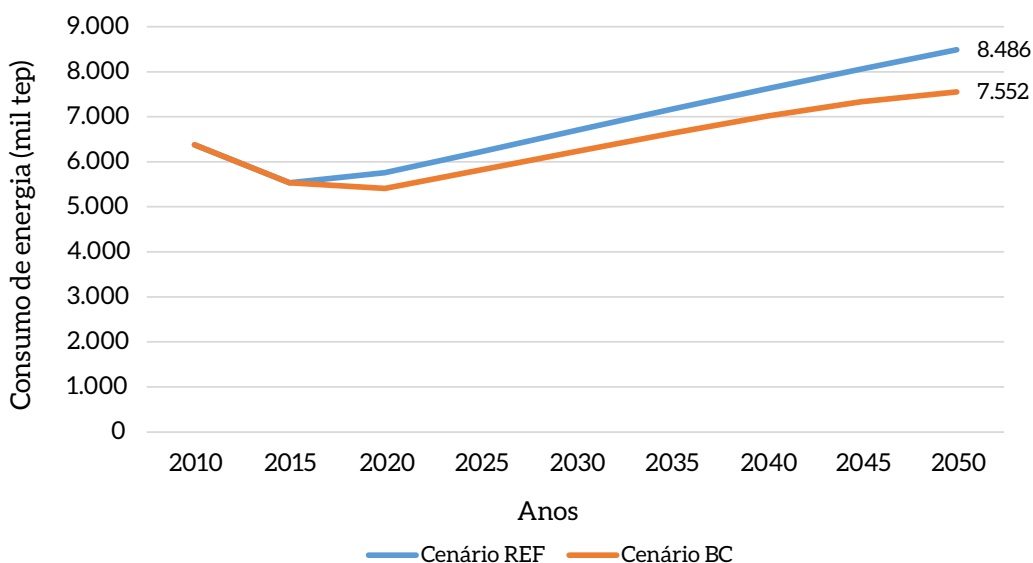


Figura 12 – Demanda de Energia dos Cenários REF e BC

Fonte: Elaboração própria

A partir da projeção da demanda de energia para o cenário BC, foram mensuradas as emissões de CO₂ do setor de metalurgia de metais não ferrosos no cenário BC. Foram utilizados os mesmos fatores de emissão utilizados para o cenário REF. As emissões totais de CO₂ são apresentadas na Tabela 33 e, na Figura 13, tem-se a projeção de emissões nos cenários REF e BC. Pode-se constatar que a implementação das MTD diminui a taxa de crescimento das emissões para 108% no período, implicando redução, com relação ao cenário REF, de 9% em 2050.

Tabela 33 – Emissões de GEE do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário BC

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões de GEE (MtCO ₂ e)	11,3	12,4	9,5	10,1	12,6	13,7	16,1	19,7	23,6

Fonte: Elaboração própria

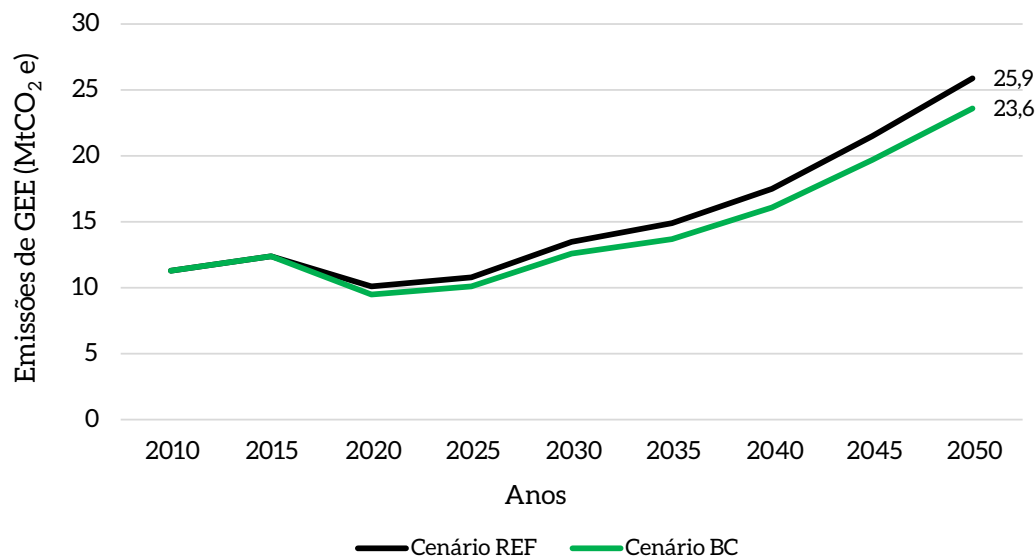


Figura 13 – Emissões de GEE nos Cenários REF e BC

Fonte: Elaboração própria

3.2.3 CUSTOS MARGINAIS DE ABATIMENTO

Nesta seção, são calculados os custos marginais de abatimento (CMA) das MTD listadas anteriormente. Serão brevemente descritos os procedimentos metodológicos considerados no cálculo desses custos. Em seguida, serão descritas as premissas, em particular, relativas à definição do custo de oportunidade do capital (taxa de desconto) do setor. Por fim, serão apresentados os resultados, com destaque para a curva de CMA, que relaciona os potenciais e custos das opções de mitigação até 2050.

O CMA consiste na diferença entre o custo do cenário REF e o custo do cenário de mitigação, ambos expressos por unidade de massa de CO₂ equivalente (US\$/tonelada CO₂e) (HENRIQUES JR., 2010). Sendo assim, o custo do CO₂e evitado consiste no gasto necessário para mitigar cada unidade de CO₂e.

Quando o custo é negativo, entende-se que a mitigação incorre em benefícios líquidos, ou seja, além de possibilitar redução da emissão de CO₂e, provê retorno financeiro ao longo da vida útil da tecnologia e/ou horizonte de implementação da atividade de baixo carbono. Por outro lado, se o custo for positivo, a mitigação de emissões demandará esforço financeiro para o agente, exceto mediante precificação de carbono no mercado. Nesse caso, apenas quando o custo da medida for inferior ao preço de carbono, o delta entre os valores representa ativo financeiro para o agente.

O CMA leva em conta investimentos necessários, custos operacionais em geral (inclusive com os energéticos) e economias em geral (HALSNAES et al., 1998). Esse custo, para cada opção de mitigação, é determinado a partir do custo incremental com a implementação da medida em comparação com o cenário REF e das emissões anuais evitadas, conforme equação 1:

$$CMA_{opção} = \frac{CAL^{baixo\ carbono} - CAL^{base}}{EA^{base} - EA^{baixo\ carbono}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que, CMA é o custo marginal de abatimento por atividade de baixo carbono; CAL, o custo anual líquido referente aos cenários de referência (base) e baixo carbono; e EA, a emissão anual dos cenários de referência e baixo carbono.

O custo anual líquido (CAL) representa a diferença do custo de investimento anualizado e do resultado financeiro anual da implantação de opção de mitigação. Esse resultado financeiro é dado pela receita total e pelos gastos com operação e manutenção com a implantação da opção, conforme equação 2:

$$CAL = \frac{INV * r * \left[\frac{(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} \right] + OM + COMB - REC}{(1+r)^{(n-2011)}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que, INV é igual ao custo do investimento da medida; r é a taxa de desconto; OM é igual ao custo de operação e manutenção da medida; COMB é o custo com combustíveis; REC é a receita obtida com a implementação da medida; e n, o ano de análise.

3.2.3.1 PREMISSAS

Para mensurar os custos marginais de abatimento das MTD, inicialmente, fez-se necessário identificar taxas de desconto. A taxa de desconto de um investimento consiste no custo de oportunidade do capital, ou o custo do capital utilizado em uma análise de retorno. A definição da taxa de desconto de mercado adotada em um projeto tem importância fundamental e necessita ser bem calibrada para permitir boa avaliação dos custos de abatimento do setor. Uma das formas empregadas para o seu cálculo utiliza o custo do capital próprio da empresa, que é comparado à rentabilidade de diferentes ativos nos quais o setor poderia investir. Nesse cálculo, parte-se, normalmente, de uma taxa livre de risco, à qual se aplicam prêmios de risco para cada opção de investimento.

Além de pesquisa na literatura, buscou-se obter informações junto à Abal sobre a taxa de desconto praticada pelo setor. A partir disso, foram selecionadas duas taxas de desconto a serem utilizadas no cálculo dos custos de abatimento das MTD: uma taxa social, de 8% ao ano, e uma taxa de mercado, de 15% ao ano. Essas taxas são compatíveis com estudos da literatura que mensuraram custos de abatimento para setores industriais (HENRIQUES JR., 2010; SCHAEFFER; SZKLO, 2009; RATHMANN, 2012).

Tendo em vista os dados necessários para aplicação nas equações 1 e 2, fez-se necessário obter os preços de combustíveis constantes na Tabela 34.

Tabela 34 – Preços dos Combustíveis

Combustíveis	Unidade	Preço
Gás natural	US\$/m³	0,65
Carvão mineral	US\$/t	180,00
Carvão vegetal	US\$/m³	47,70
Óleo combustível	US\$/litro	0,53
GLP	US\$/kg	1,97
Eletricidade	US\$/MWh	147,85

Fonte: Elaborado a partir de EPE, 2017; ANP, 2017

Em seguida, foi necessário projetar preços dos combustíveis para obtenção dos custos marginais de abatimento até 2050. Para tanto, foram analisados cenários de preços de petróleo, dos quais derivam preços dos insumos energéticos. Nos cálculos de CMA realizados pela taxa de desconto de mercado, o preço do petróleo foi considerado constante. No caso, US\$ 75 por barril. Trata-se de um preço de robustez do petróleo, que é conservador para não subestimar os custos de abatimento das medidas. No caso da taxa de desconto social, foi considerada a evolução de preços de petróleo do cenário Low Price Case do EIA (EIA, 2015).

A Tabela 35 resume os preços de petróleo considerados para o cálculo do CMA das possibilidades de mitigação, segundo taxas de desconto pelas óticas de mercado e social.

Tabela 35 – Preços de Petróleo Considerados para o Cálculo do Custo Marginal de Abatimento das Possibilidades de Mitigação

Taxa de Desconto	Preço do Petróleo (US\$/barril)							
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
15% ao ano (Ótica de mercado)	75	75	75	75	75	75	75	75
8% ao ano (Ótica social)	55	75	90	105	120	135	140	145

Fonte: Elaboração própria a partir de EIA, 2015

Perante os cenários de preços do petróleo, foram projetados preços dos insumos energéticos para mensuração dos CMA segundo a taxa de desconto social (Tabela 35). Cumpre destacar que esse procedimento não é necessário para aplicação ao cálculo com taxa de desconto de mercado, na medida em que o preço de petróleo é constante no período. Logo, são considerados os preços dos insumos energéticos apresentados na Tabela 34.

Tabela 36 – Preços dos Combustíveis e da Eletricidade para a Taxa de Desconto de 8% ao ano

Combustíveis	Unidade	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	US\$/m³	0,65	0,65	0,89	1,06	1,24	1,42	1,60	1,66	1,72
Carvão mineral	US\$/t	180,00	180,00	214,61	234,24	257,89	289,32	301,25	334,69	378,02
Carvão vegetal	US\$/m³	47,7	47,7	56,3	58,2	53,7	55,0	54,4	54,5	56,4
Óleo combustível	US\$/litro	0,53	0,53	0,73	0,87	1,02	1,16	1,31	1,35	1,40
GLP	US\$/kg	1,97	1,97	2,69	3,22	3,76	4,30	4,83	5,01	5,19
Eletricidade	US\$/MWh	147,85	147,85	201,61	241,94	282,26	322,58	362,90	376,34	389,78

Fonte: Elaboração própria a partir de EIA, 2015; EPE; 2017

A Tabela 37 resume os custos de capital e operação e manutenção (O&M), assim como vida útil das MTD consideradas no cenário BC.

Tabela 37 – Custos de Capital e O&M e Vida Útil das MTD

MTD	Custos (US\$ 2010/t)		Vida útil (anos)
	Investimento	O&M	
Uso de materiais isolantes em fornos	0,5	0,1	30
Recuperação de calor	10,0	-	30
Otimização fluxo do ar de combustão	3,0	-	15
Controle de pressão e vazamento em fornos	1,5	0,2	20
Otimização da operação de células	325,0	-	20
Otimização de motores	1,8	0,2	10
Troca <i>smelter</i> Soderberg por Prebake	2.600,0	260,0	20

Fonte: Elaboração própria a partir de KERMELI et al., 2015

3.2.3.2 RESULTADOS

Considerando as premissas adotadas, foram calculados os custos de abatimento para cada medida, bem como seus potenciais acumulados de abatimento até 2050, para taxas de desconto de 8% e 15% ao ano (Tabela 38 e Tabela 39).

Tabela 38 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para Taxa de Desconto de 8% a.a.

MTD	Custo de abatimento (US\$/tCO ₂)	Potencial de abatimento (MtCO ₂)
Uso de materiais isolantes em fornos	0,16	5,09
Recuperação de calor	0,66	23,77
Otimização fluxo do ar de combustão	1,78	4,04
Controle de pressão e vazamento em fornos	4,22	4,65
Otimização da operação de células	5,00	0,06
Otimização de motores	5,51	1,65
Troca <i>smelter</i> Soderberg por Prebake	326,08	0,12

Fonte: Elaboração própria

Tabela 39 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para Taxa de Desconto de 15% a.a.

MTD	Custo de abatimento (US\$/tCO ₂)	Potencial de abatimento (MtCO ₂)
Uso de materiais isolantes em fornos	7,94	5,09
Recuperação de calor	9,44	23,77
Otimização fluxo do ar de combustão	19,53	4,04
Otimização da operação de células	33,97	4,65
Controle pressão e vazamento em fornos	48,99	0,06
Otimização de motores	62,58	1,65
Troca <i>smelter</i> Soderberg por Prebake	373,71	0,12

Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos mostram que, para todas as medidas, os custos de abatimento calculados com a taxa de 15% são maiores do que os custos calculados com a taxa de 8%. Esse resultado já era esperado. O fator de recuperação de capital com a utilização de 15% como taxa de desconto é maior, o que resulta em um valor presente do investimento maior e consequentemente maior custo de abatimento das medidas.

É possível perceber que todo o potencial de abatimento, independentemente da taxa de desconto, é custo-positivo, indicando que as MTD são inviáveis sob o ponto de vista econômico. Além dessa barreira, outros entraves não econômicos, como deficiências regulatórias, aspectos comportamentais, entre outras, podem estar presentes. Mais que isso, mesmo barreiras econômicas não captadas nos custos de abatimento podem impedir a adoção das atividades, caso da disponibilidade de crédito para realização dos investimentos. Tais aspectos serão analisados no capítulo 4 desse estudo.

As curvas de custos de abatimento podem ser construídas no nível de tecnologia/atividade ou setor/programa. As curvas no nível de tecnologia/atividade obtidas neste trabalho são mais simples e avaliam cada opção de mitigação separadamente, com base nos seus custos e emissões evitadas (Figura 14 e Figura 15).

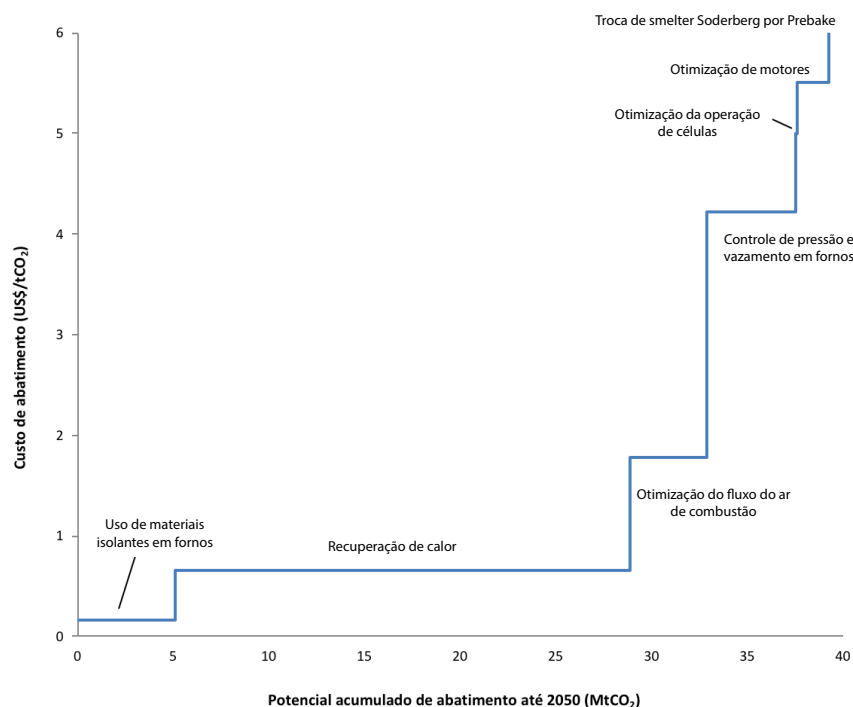


Figura 14 - Curva de Custos Marginais de Abatimento com Taxa de Desconto de 8% ao ano

Fonte: Elaboração própria

Cumprе enfatizar que optou-se por não representar a medida de substituição de *smelter* Prebake por Soderberg com taxa de desconto de 8% ao ano na curva, pois a mesma ficaria distorcida em função do diferencial de patamar com relação às demais medidas.

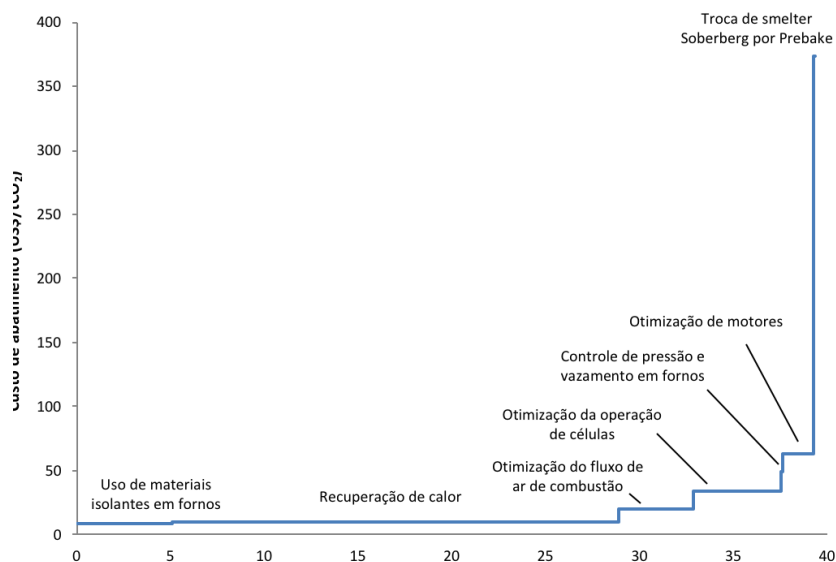


Figura 15 - Curva de Custos Marginais de Abatimento com Taxa de Desconto de 15% ao ano

Fonte: Elaboração própria

Interessante notar que o potencial demonstrado representa a redução acumulada das emissões das medidas aplicadas até 2050. O potencial acumulado de abatimento de emissões foi estimado em cerca de 39,4 MtCO₂.

Entretanto, esse potencial de abatimento não representa o potencial líquido de redução de emissões do setor. É apenas o total da redução de cada medida aplicada em relação ao cenário REF. Dessa forma, pode ocorrer, e está ocorrendo, dupla contagem de redução de emissões, visto que a redução do consumo energético de duas medidas não é necessariamente igual à soma de suas contribuições individuais. Essa característica das curvas de abatimento convencionais e setoriais mostra a necessidade de uma modelagem integrada para a eliminação da dupla contagem e para representar, de forma mais fidedigna, o potencial de mitigação do setor. Tal aspecto justifica a publicação do documento Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono, que deve ser utilizado como referencial para avaliação das oportunidades setoriais de mitigação de emissões de GEE (MCTIC, 2017b).

3.3 CENÁRIO BC+I

Este item avaliará o impacto da introdução de tecnologias de ruptura aplicáveis aos processos produtivos do setor, com potencial de viabilização comercial no longo prazo, sobre o consumo de energia e emissões de GEE. Em seguida, serão descritos premissas e parâmetros considerados na construção do cenário BC+I. Por fim, serão apresentadas as projeções relativas ao cenário.

Diferentemente do cenário BC, a inexistência de parâmetros econômicos de grande parte das tecnologias inovadoras inviabiliza a mensuração de custos de abatimento de emissões de GEE. Portanto, trata-se de avaliar exclusivamente o potencial técnico de mitigação que está condicionado à criação de políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I), visando ao desenvolvimento de tecnologias de ruptura aplicáveis aos processos fabris do setor de metalurgia de metais não ferrosos.

Algumas tecnologias que serão descritas já vêm sendo testadas, mas ainda não se encontram na fase comercial. Logo, podem ser classificadas em níveis de prontidão tecnológica (TRL) inferiores a 7, que indicam que as tecnologias se encontram em fase de pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D) para aplicação no setor (DoD, 2011).

3.3.1 PREMISSAS

Para estabelecer as tecnologias inovadoras a serem consideradas na elaboração do cenário BC+I, foi realizada uma revisão da literatura em Bangs (2011), GDA (2012), IEA (2015) e IPCC (2013). Foram utilizadas para a elaboração do cenário as tecnologias cujos potenciais de economia de energia foi possível obter, e que são classificadas com TRL inferior 7 (Quadro 3).

Quadro 3 – Tecnologias Consideradas no Cenário BC+I

Tecnologias
Anodos inertes e cátodos úmidos
<i>Near-net-shape casting</i>
Combustão <i>oxy-fuel</i>
Reformas em células de redução
Redução direta carbotérmica
Redução caulinita
Utilização de ligas de sucata
Forno IDEXTM

Fonte: Elaboração própria

Inicialmente, faz-se necessário obter potenciais de economia a aplicabilidade máxima das tecnologias de ruptura. No que se refere à penetração das tecnologias, foi considerado que tais tecnologias seriam implementadas a partir de 2020, atingindo a aplicabilidade listada na Tabela 40 em 2050.

Tabela 40 – Potenciais de Economia de Energia e Aplicabilidade das Tecnologias Inovadoras

Tecnologia	Potencial de economia de energia por processo	Aplicabilidade máxima
Anodos inertes e cátodos úmidos	15% a 30% na eletrólise	45%
<i>Near-net-shape casting</i>	25% na laminação	70%
Combustão <i>oxy-fuel</i>	55% na refusão	62%
Reformas em células de redução	14% a 16% na eletrólise	48%
Redução direta carbotérmica	21% na eletrólise	45%
Redução caulinita	15% na eletrólise	45%
Utilização de ligas de sucata	95% na refusão	55%
Forno IDEXTM	41% no decoating da sucata	35%

Fonte: Elaboração própria

Por fim, adotaram-se os mesmos procedimentos e taxas de crescimento do PIB relativas ao cenário REF para projetar a demanda de energia e emissões de GEE no cenário BC+I.

3.3.2 RESULTADOS

Aplicando-se os potenciais de economia da energia das tecnologias inovadoras, pôde-se chegar ao consumo de energia até 2050 no cenário BC+I. Verifica-se que o crescimento no período de 2010 a 2050 é de 15% (Tabela 41) e que há redução, com relação ao cenário REF, de 14% em 2050 (Figura 16).

Tabela 41 – Consumo de Energia do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário BC+I

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Consumo de energia (mil tep)	6.381	5.536	5.410	5.536	5.892	6.232	6.553	6.852	7.298

Fonte: Elaboração própria

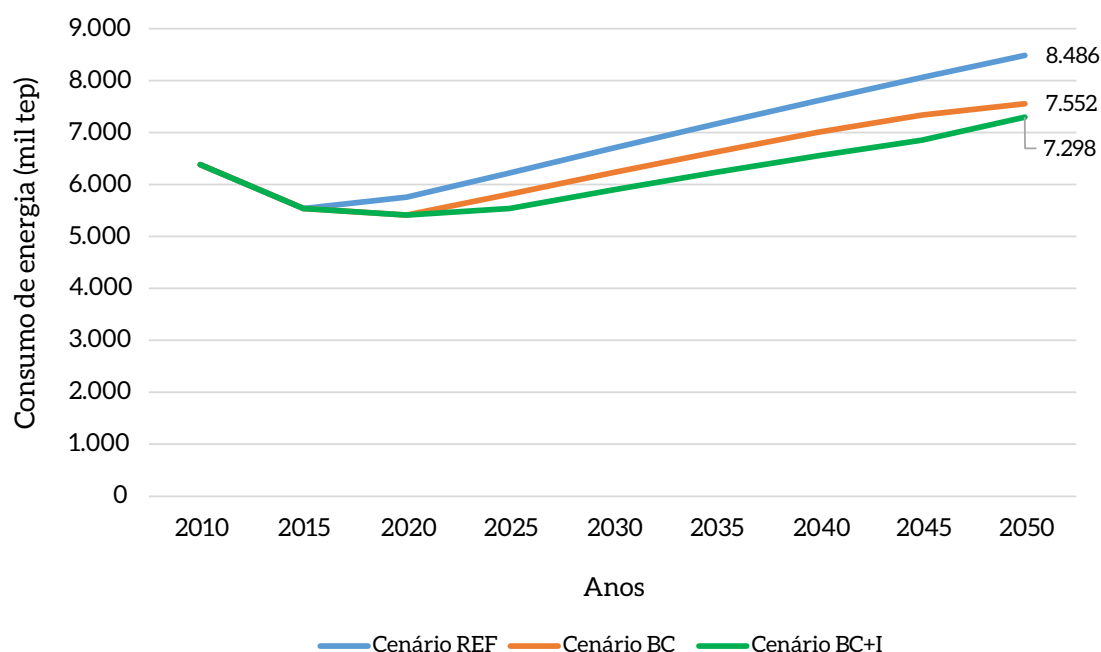


Figura 16 – Demanda de Energia dos Cenários REF, BC e BC+I

Fonte: Elaboração própria

As emissões de GEE do cenário BC+I foram mensuradas a partir do consumo energético e segundo fatores de emissão reportados na seção 3.1.1. Observa-se queda de 18% nas emissões com relação ao cenário REF.

Tabela 42 – Emissões de GEE do Setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos no Cenário BC+I

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões de GEE (MtCO ₂ e)	11,3	12,4	9,5	8,8	10,8	11,7	13,4	16,3	21,2

Fonte: Elaboração própria

Após a consolidação dos cenários REF, BC e BC+I, foi possível compará-los em termos de emissão de dióxido de carbono e consumo de energia. A Figura 17 mostra a comparação entre a evolução das emissões de CO₂ nos três cenários.

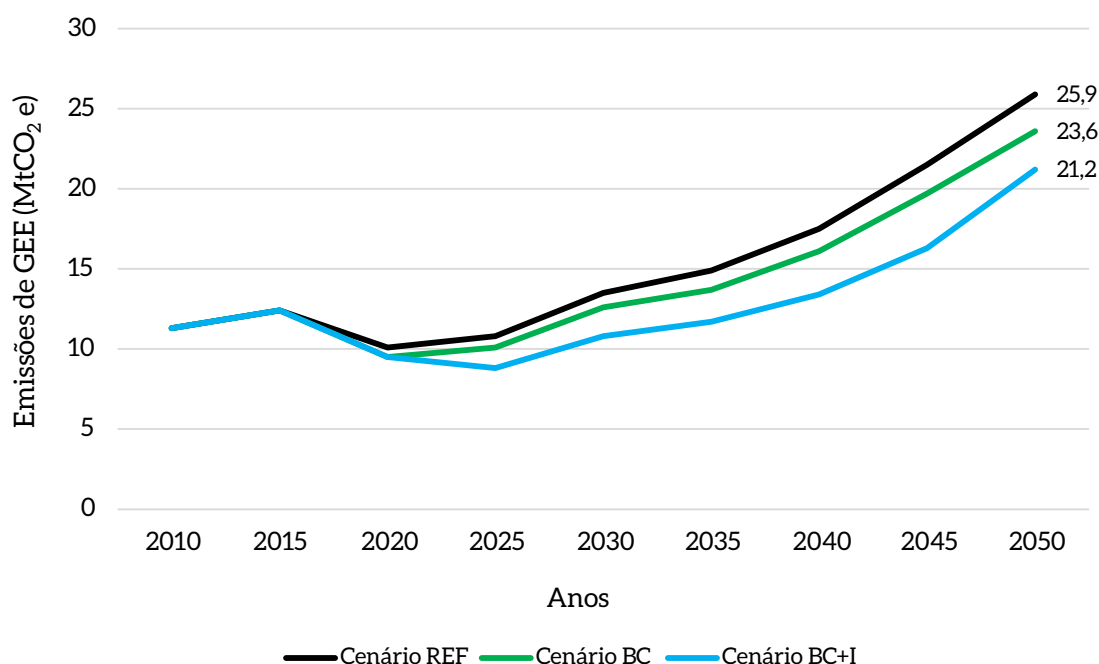
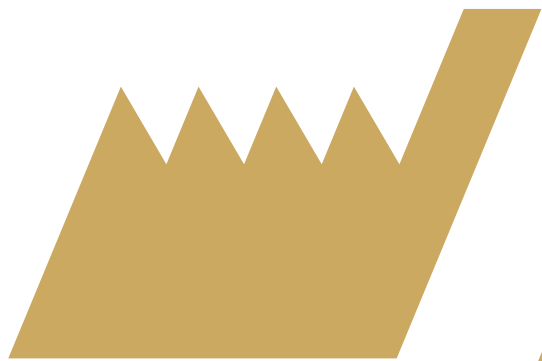


Figura 17 – Emissões de GEE nos Cenários REF, BC e BC+I

Fonte: Elaboração própria

Ainda que o potencial de mitigação dos cenários de baixo carbono seja significativo, não devem ser desconsideradas as barreiras à adoção das tecnologias disponíveis comercialmente e de ruptura, que são tecnológicas, regulatórias e econômicas, sobretudo. No próximo capítulo, serão tratados de forma mais detalhada barreiras existentes para a entrada das tecnologias e seus cobenefícios, assim como instrumentos de política capazes de removê-las e potencializá-los, respectivamente.



Subsídios à formulação de instrumentos de política pública para a adoção dos cenários de baixo carbono

Capítulo

4

4 SUBSÍDIOS À FORMULAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA A ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO

Perante o mapeamento das oportunidades de mitigação, este capítulo, inicialmente, objetiva analisar as barreiras e os cobenefícios da sua aplicação enquanto estratégia de baixo carbono. Partindo desse mapeamento, que também considera experiências nacionais e internacionais com políticas públicas relacionadas à temática, serão propostos instrumentos capazes de incentivar a penetração das medidas mapeadas no âmbito dos cenários de baixo carbono pelo setor de metalurgia de metais não ferrosos.

Pôde-se constatar um potencial acumulado de abatimento de 39 MtCO₂ no cenário BC, com a totalidade desse montante apresentando custos de abatimento positivos segundo taxas de desconto social e de mercado. Em particular com taxa de desconto de 8% ao ano, grande parte das medidas estão próximas da viabilidade econômica. Entretanto, aspectos que não foram avaliados no estudo poderiam levar a resultados distintos. Tipicamente, análises setoriais de oportunidades de mitigação de emissões de GEE tendem a desconsiderar aspectos que afetam significativamente a mensuração de potenciais e custos de abatimento: i) competição por tecnologias de baixo carbono com outros setores; ii) adequação dos custos de capital e O&M, obtidos na literatura científica, à realidade econômico-tributária do país; iii) impactos de deficiências regulatórias, refletidos em custos de transação que não capturados pela metodologia de CMA; iv) não aditividade e aplicabilidade de medidas em face de restrições técnico-operacionais; entre outras.

No caso das tecnologias de ruptura avaliadas no cenário BC+I, o potencial de mitigação seria maior, qual seja de 18% de redução de emissões com relação ao cenário REF, em 2050. Todavia, são medidas mitigadoras de emissão distantes da aplicabilidade no setor, sendo o objetivo da análise demonstrar os efeitos que trariam mediante a remoção de substanciais barreiras por meio de instrumentos de política pública variados, mas em particular voltados a PD&D.

As lacunas associadas à não aditividade e à competição por tecnologias de baixo carbono são superadas por meio da técnica de integração de cenários adotada pelo projeto (MCTIC, 2017b). Seus resultados permitem obter informações precisas em termos de potenciais e custos de mitigação de emissões de GEE. Por exemplo, constatou-se que somente a recuperação de calor, perante o conjunto de medidas avaliadas nos cenários de baixo carbono, é custo-efetiva no horizonte de implementação até 2050. Todavia, mesmo que tenha custo-efetividade, exige a remoção de barreiras para sua adoção, pois não faz parte, em sentido amplo, do *baseline* setorial.

Com o objetivo de fornecer elementos para que os formuladores de política pública possam implementar, efetivamente, instrumentos que permitam abater emissões do setor, serão discutidos os seguintes tópicos neste capítulo:

- i) Identificação de barreiras e cobenefícios à adoção de medidas de baixo carbono no setor;
- ii) Exemplos internacionais e nacionais de políticas públicas de baixo carbono;
- iii) Instrumentos de política pública aplicáveis ao setor para promover o abatimento de emissões de GEE;
- iv) Síntese da proposta de instrumentos de política pública para a implementação do cenário BC.

4.1 BARREIRAS E COBENEFÍCIOS À IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE BAIXO CARBONO PELO SETOR

Neste estudo, assim como em Bergh (2012), as barreiras serão avaliadas considerando as seguintes categorias: econômicas e de mercado; regulatórias e institucionais; comportamentais e informacionais/culturais; e tecnológicas.

Existem problemas específicos para cada setor industrial e problemas específicos relacionados ao porte das empresas que são aplicáveis ao setor de metalurgia de metais não ferrosos. CNI (2009) identificou barreiras comuns entre os diversos setores industriais que impedem o aproveitamento dos potenciais de eficiência energética:

- Não existem linhas de financiamento ou as existentes são inadequadas para as ações de eficiência energética;
- Existe competição entre a racionalização do uso de energia e prioridades de investimento;
- Existe necessidade de capacitação de pessoal para a correta identificação de oportunidades de eficiência energética e para a gestão dos projetos que se mostrarem viáveis;
- Novas tecnologias de eficiência podem significar riscos técnicos na visão da empresa.

No cenário BC, foram avaliadas exclusivamente MTD que promoveriam efficientização energética, sendo que todas apresentam custos de abatimento positivos. Além dessa barreira econômica, faz-se necessário realizar investimentos significativos para implementá-las. Ademais, a atual situação econômica do país leva a que o governo realize ajustes fiscais que dificultam o acesso a crédito por parte do setor. Esse aspecto influencia a realização de investimento nas medidas viáveis, pois a conjuntura econômica recessiva afeta a capacidade financeira das empresas e impede que o governo conceda crédito com taxas de juro atrativas junto aos bancos públicos de fomento. Essas restrições são percebidas em termos da disponibilidade de capital no mercado de crédito, bem como do aumento da taxa de juros para a concessão de financiamentos. Existe assimetria no acesso ao crédito associado ao porte das empresas, o que inibe a realização de investimentos em ações de eficiência energética por médias e pequenas empresas, bem como custos de transação que precisariam ser removidos para a realização de investimentos. Finalmente, a recessão afeta a renda das famílias e, conseqüentemente, a demanda por bens de consumo durável, como é o caso de produtos oriundos de metais não ferrosos, o que dificulta a realização de investimentos pelo setor em efficientização dos processos produtivos.

Ainda que a barreira de acesso ao capital possa ser removida, não necessariamente os recursos seriam integralmente destinados para esse propósito, em face da competição com outros investimentos, como os necessários para expandir a capacidade de produção. Em geral, todos os acionistas estão inclinados a seguir o status quo, que tende a ser menos eficiente e conservador, respondendo em termos de eficiência energética apenas em situações críticas, como escassez de recursos. Por isso, investimentos no incremento da capacidade de produção e na penetração de mercado tendem a ser priorizados (UNIDO, 2011a; 2011b; 2013).

Mesmo para medidas menos complexas, como é o caso da melhoria no isolamento de fornos e recuperação de calor, também é necessária a disponibilização de capital para instalação das tecnologias. Ademais, e em linha com DECC (2015), essas medidas demandam menores prazos de retorno de capital, aspecto que frequentemente impede a sua adoção.

No nível institucional e regulatório, a obtenção de crédito para o financiamento das atividades de baixo carbono está condicionada a uma série de exigências burocráticas, dentre as quais se destaca a elaboração de projetos para o acesso a linhas de crédito de programas governamentais. Ainda no âmbito regulatório, a inexistência de padrões de eficiência energética e/ou limites de emissões se constituem em barreiras à implementação de atividades de baixo carbono.

Em termos comportamentais e informacionais, muitos atores do setor desconhecem a relação custo-benefício das medidas que resultam em eficiência energética, como é o caso das tecnologias mapeadas no cenário BC. Mesmo diante do conhecimento dos benefícios, é comum inexistir pessoal técnico capacitado para identificar, implementar e monitorar as referidas medidas (UNIDO, 2011a; BERGH, 2012), em particular em unidades industriais de médio e pequeno porte. Esse aspecto pode resultar em sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias. Ainda, pode-se verificar, em casos restritos, a resistência a substituir equipamentos existentes que já se pagaram ou que já estão em fim de vida útil por outros mais eficientes em face do costume com a sua operação. Mais que isso, destacam-se as barreiras à mudança nos processos produtivos, que derivam de suposta complexidade operacional de novas tecnologias. Finalmente, pode-se entender que a introdução de tecnologias que aumentam a produtividade fabril pode levar ao paradoxo do aumento da lucratividade com desemprego de mão de obra, aspecto que pode implicar conflitos de natureza laboral.

No que diz respeito às barreiras tecnológicas, é possível mencionar os riscos técnicos e operacionais das medidas inovadoras, de eficiência energética e *smelter* Prebake (BERGH, 2012), ou seja, riscos associados a uma nova tecnologia que demanda tempo de aprendizagem dos que a utilizam para que estes não operem sobre ou subdimensionados. Além disso, não necessariamente, é possível a incorporação de novas tecnologias nos processos produtivos do setor, visto que o layout do processo pode não permitir a adaptação das mesmas à configuração das plantas industriais existentes (ZILAHY, 2004). Finalmente, a falta de conteúdo local das tecnologias de baixo carbono pode constituir barreira a sua adoção. A importação de tecnologias, como é o caso das medidas inovadoras avaliadas no cenário BC+I e *smelter* Prebake, pode retardar ou impedir sua introdução, inviabilizando ganhos em termos de produtividade e economia de energia (CURRÁS, 2010).

Ainda no que se refere às tecnologias inovadoras, existem barreiras referentes à adequação a padrões, normas e regulamentações e ao alto custo em pesquisa e desenvolvimento, visando à

implantação de um produto ou serviço inovador (BELTRAME et al., 2013). Outra barreira à inovação é o tempo médio de análise para concessão de patentes pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial (Inpi), que, na maioria dos casos, varia de 7 a 11 anos, enquanto em países da União Europeia, assim como na China, na Coreia do Sul, nos EUA e no Japão o período médio é inferior a 3 anos (LICKS, 2017).

No tocante aos cobenefícios relacionados à implementação das atividades de baixo carbono mapeadas neste estudo, podem ser destacados os efeitos diretos associados à redução no consumo de energia, vis-à-vis emissão de poluentes, quais sejam:

- Redução nos custos variáveis associados ao consumo de energia;
- Melhoria na conversão de energia em serviços energéticos;
- Promoção ao uso de fontes menos energointensivas de energia;
- Utilização eficiente dos recursos naturais;
- Geração de emprego e renda por meio do aumento da competitividade dos polos de produção e associadas à fase de implementação das tecnologias de baixo carbono; entre outros.

4.2 SÍNTESE DAS EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS COM POLÍTICAS DE BAIXO CARBONO

De acordo com o World Energy Council (2013), vários programas e medidas foram implementados em todo o mundo como parte de um esforço para reduzir emissões de GEE por meio da eficiência energética no setor industrial. Como esse setor abrange ampla variedade de subsectores, com diferentes perfis de consumo de energia, políticas destinadas a melhorar a eficiência energética na indústria são projetadas para permitir flexibilidade. Nesse contexto, todas as indústrias estão sujeitas à competição internacional, logo, a implementação de políticas nesse setor deve levar isso em conta, evitando a implementação de medidas muito restritivas e rigorosas que poderiam deixar a indústria menos competitiva.

Dentre os instrumentos típicos de políticas, destacam-se subsídios para auditorias energéticas nas indústrias como forma de ajudar a identificar investimentos rentáveis, disponibilidade de crédito em condições favoráveis e subvenções para reduzir o tempo de retorno desses investimentos e torná-los mais atraentes para consumidores industriais. Ações potenciais incluem ainda incentivos e informação acerca da importância relacionada à modernização de equipamentos e processos, como criação de selos de eficiência industrial, programas de depreciação obrigatória de fornos de geração de calor e vapor e definição de *benchmark* para novas plantas industriais.

Na Figura 18, nota-se a participação, por países selecionados, dos instrumentos de política pública implementados para promover atividades de baixo carbono. Deve-se destacar que, percentualmente, o Brasil é o país que mais políticas relacionadas com informação e educação tem, enquanto na China predominam os instrumentos regulatórios.

Vê-se que o Brasil conta com poucos instrumentos regulatórios e econômicos, quando comparado a outros países. Conforme se pôde verificar na análise de barreiras à adoção dos cenários de baixo

carbono, é necessário avançar na proposição de instrumentos econômico-financeiros e regulatórios para viabilizar a transição dessas atividades para uma economia de baixo carbono.

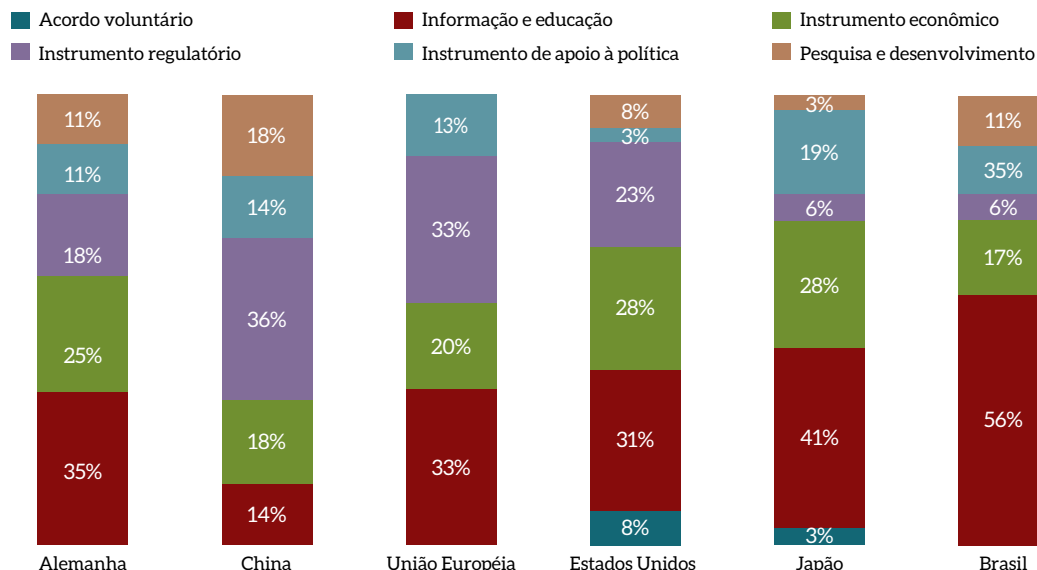


Figura 18 – Instrumentos Utilizados por Países para Promover a Eficiência Energética na Indústria

Fonte: Elaborado a partir de WORLD ENERGY COUNCIL, 2013

A partir de pesquisa bibliográfica em documentos internacionais como World Energy Council (2013), tornou-se possível a identificação de políticas públicas criadas para remover as barreiras apresentadas. Entre os mecanismos utilizados, encontram-se incentivos fiscais, disponibilização de financiamentos e fundos para investimento em tecnologias de eficiência energética, exigência de monitoramento relativo às emissões de CO₂, iniciativas de pesquisa com forte ênfase na eficiência energética, desenvolvimento de sistemas para fornecer aos consumidores informações relacionadas à eficiência energética, como certificação de produtos, taxaço de carbono e créditos de carbono.

Em âmbito nacional, considerando o propósito deste estudo, têm destaque o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e o Plano Indústria. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, o objetivo geral do PNMC é identificar, planejar e coordenar as ações e medidas que possam ser empreendidas para mitigar as emissões de GEE geradas no Brasil, bem como aquelas necessárias à adaptação da sociedade aos impactos que ocorram devido à mudança do clima (MMA, 2010).

As medidas mitigadoras, bem como as medidas de adaptação e o desenvolvimento de pesquisas, visam ao alcance dos principais objetivos específicos mencionados a seguir:

- Fomentar aumentos de eficiência no desempenho dos setores da economia na busca constante do alcance das melhores práticas;
- Manter elevada a participação de energia renovável na matriz elétrica, preservando a posição de destaque que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional;
- Fomentar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional e atuar com vistas à estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis;

- Buscar a redução sustentada das taxas de desmatamento, em sua média quadrienal, em todos os biomas brasileiros, até que se atinja o desmatamento ilegal zero;
- Eliminar a perda líquida da área de cobertura florestal no Brasil, até 2015;
- Fortalecer ações intersetoriais voltadas para redução das vulnerabilidades das populações;
- Identificar os impactos ambientais decorrentes da mudança do clima e fomentar o desenvolvimento de pesquisas científicas para que se possa traçar uma estratégia que minimize os custos socioeconômicos de adaptação do país.

Visando à implementação do PNMC, foram formulados nove planos setoriais de mitigação e adaptação, dentre os quais o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação, comumente chamado de Plano Indústria (FGV, 2015).

O objetivo desse plano é preparar a indústria nacional para um cenário futuro em que a intensidade de emissão de carbono por unidade de produto seja tão importante quanto a produtividade de trabalho e os demais fatores que definem a competitividade internacional da economia. Para tanto, estabelece metas de redução de emissões de processos industriais e de uso de energia em relação a um cenário tendencial projetado para 2020.

O plano é sustentado por três pilares de ação: implantação de sistema de monitoramento, relato e verificação (MRV) das emissões de GEE da atividade industrial, implantação de medidas e instrumentos de incentivos à redução de emissões, criação de Comissão Técnica do Plano Indústria (CTPIn), composta por representantes do governo, sociedade civil, meio acadêmico, com responsabilidade de detalhar, monitorar e revisar ações do plano (FGV, 2015).

O Plano Indústria focou inicialmente em ações setoriais da indústria de alumínio, cimento, papel e celulose e química, seguida pela indústria de ferro e aço, cal e vidro, em 2013, e com a incorporação progressiva de todos os demais setores da indústria de transformação até 2020.

Como estratégia, para viabilização das ações planejadas, o plano está dividido em cinco eixos de atuação:

– Ações Eixo 1: Gestão de carbono

- Tornar obrigatória a realização anual de inventários corporativos de emissões a partir de 2013 para grandes empresas do setor de alumínio, cimento, papel e celulose e química; a partir de 2014, para grandes empresas do setor de siderurgia, cal e vidro; e, a partir de 2020, os demais setores, incluindo o setor de papel e celulose, segundo critérios definidos pela CTPIn;
- Criar condições para que pequenas e médias empresas possam realizar inventários simplificados;
- Criar um banco de dados de fatores de emissão;
- Capacitar técnicos para a coleta de dados de emissão das plantas;
- Criar o Sistema de Informações sobre Emissões de GEE na Indústria (Sincarbo);
- Realizar estudos de cenários de emissões para cada setor;

- Estabelecer requisitos de eficiência de emissões para a concessão de financiamentos de agentes públicos, incentivos positivos e tratamento diferenciado para empresas com baixo índice de emissão de GEE;
- Definir incentivos para produção com menor intensidade de GEE, como mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas, financiamento diferenciado, incentivos fiscais, capacitação técnica e outros instrumentos de apoio;
- Influenciar e estimular a formulação de políticas de apoio às pequenas empresas que fomentem ações eficientes de mitigação de emissões de GEE;
- Criar incentivos à realização de estudos e pesquisas para a fundamentação de benchmarks para os setores que ainda não disponham de estudos dessa natureza;
- Criar incentivos para a elaboração de estudos específicos visando à adoção de tecnologias menos intensivas em carbono, substituição de combustíveis e eficiência energética.

– Ações Eixo 2: Reciclagem e o aproveitamento de coprodutos

- Avaliar as barreiras regulatórias ao processamento de resíduos sólidos industriais e urbanos e propor alterações no marco regulatório;
- Estabelecer tratamento tributário diferenciado para matéria-prima reciclada e renovável;
- Organizar bolsas de resíduos, propiciando que as indústrias possam oferecer ou procurar resíduos que substituam matérias-primas, com menor custo.

– Ações Eixo 3: Eficiência energética e cogeração

- Criar selo de eficiência energética para bens de capital;
- Estabelecer linhas de crédito diferenciadas para equipamentos que ampliem a eficiência em termos de emissões de GEE das plantas industriais ou que promovam a redução de emissões líquidas em projetos de substituição de energia fóssil por renovável;
- Impulsionar as ações do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) voltadas para o setor industrial.

– Ações Eixo 4: Iniciativas voluntárias

- Realizar levantamentos setoriais de oportunidades de mitigação mediante projetos de redução de emissão (MDL);
- Promover parcerias público-privadas para a realização de projetos de MDL nos setores industriais;
- Criar Programa Voluntário de Redução de Emissões (PPB verde);
- Elaborar guia de identificação de medidas de adaptação para empresas.

– Ações Eixo 5: Tecnologias sustentáveis

- Criar banco de dados de tecnologias sustentáveis;
- Criar sistema expresso (fast-track) para concessão de patentes de tecnologias sustentáveis;
- Facilitar a transferência de tecnologias sustentáveis.

4.3 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO

Para remover barreiras econômicas e de mercado, tendo em vista que a disponibilização de crédito e subvenção econômica é suscetível e associada às políticas fiscal e monetária e que a adoção de tecnologias de baixo carbono requer fluxos significativos e constantes de crédito para a realização de investimentos, é preciso ampliar a estrutura de captação de recursos por bancos públicos de fomento. Para tanto, os organismos gestores do Fundo Clima, e/ou aqueles que vierem a ser criados, visando ao cumprimento da NDC, deveriam procurar recursos junto ao Green Climate Fund (GCF), ao Global Environmental Facility (GEF) e ao Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), entre outros. Mais que isso, os portfólios de crédito das instituições financeiras devem ser diversificados para pequenas, médias e grandes empresas, visando estabelecer igualdade na aquisição de financiamentos. No particular das pequenas empresas, que enfrentarem dificuldade de mão de obra qualificada para adoção de tecnologias de baixo carbono, também cabe o acesso a recursos de assistência técnica do Climate Technology Centre Network (CTCN).

A linha de financiamento do Finem – Eficiência Energética do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com recursos do Fundo Clima e demais fontes de alavancagem mencionadas, poderia custear, com taxas subsidiadas de juros, a aquisição de equipamentos de baixo carbono. Em virtude do patamar de recursos necessário para adoção das medidas, poderia ser criada, pelo BNDES, a linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria”, com portfólios subdivididos por porte de empresa. E, finalmente, a partir de 2025, a precificação de carbono poderia servir de incentivo à viabilização das atividades com custo marginal de abatimento positivo e, sobretudo, tecnologias de ruptura. Nesse caso, optando-se pela taxação de carbono como instrumento de internalização do preço de carbono na economia, seria desejável a reciclagem de parte dos recursos para incentivo de P&D.

A adoção dessas medidas exigiria a mobilização de atores do BNDES, bancos comerciais, Ministério da Fazenda (MF), Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), e sua implementação, com exceção da precificação de carbono, poderia ocorrer a partir de 2020, estando condicionada a estudos de impactos orçamentários pelo governo no curto prazo (2018 a 2020).

Para remover a barreira relacionada a tecnologias importadas, como é o caso das tecnologias inovadoras e *smelters* Prebake, e por isso estão sujeitas à volatilidade cambial e taxas alfandegárias, poderia ser implementado um instrumento econômico com vistas a desonerar impostos das importações de tecnologias-chave para a mitigação de emissões de GEE. Para tornar o instrumento eficiente, o MF poderia prever, com atribuições para o MDIC, que a desoneração fosse acompanhada de contrapartidas tecnológicas e sociais, quais sejam: i) estabelecimento de metas de efficientização energética; ii) manutenção dos níveis de emprego por um período mínimo de dois anos após o recebimento do benefício fiscal. O MDIC seria o agente responsável pelo monitoramento do cumprimento das metas, com auxílio da CNI e Abal. Considerando que as MTD propostas seriam implementadas a partir de 2020, os instrumentos precisam ser adotados no médio prazo.

Um instrumento que promoveria, transversalmente, a adoção de atividades de baixo carbono seria a inclusão do setor de metalurgia de metais não ferrosos no Plano Indústria, ou aquele que vier a sucedê-lo, tendo em vista a estratégia de implementação da NDC brasileira. Seria uma medida simples, a qual poderia ser implementada no curto prazo pelo MDIC.

No âmbito da concessão de crédito, é preciso minimizar custos de transação decorrentes da burocracia exigida pelas instituições financeiras, que solicitam documentos e projetos que podem afastar o interessado pela aplicação de uma atividade de baixo carbono. Para tanto, poder-se-ia propor a desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que visam mitigar emissões de GEE e que estejam correlacionadas a atividades-chave mapeadas no âmbito deste estudo. Todavia, os procedimentos burocráticos visam proteger o setor financeiro do risco de inadimplência, motivo pelo qual a desburocratização deve respeitar limites mínimos de análise de crédito. Uma maneira de gerar reciprocidade na concessão de crédito seria a exigência de contrapartidas para contratação por meio da linha “Finem – Eficiência Energética na Indústria”, como apresentação de inventários corporativos para médias e grandes empresas e cumprimento de metas de efficientização energética e/ou emissões de GEE. Tais instrumentos poderiam ser implementados em parceria entre o MMA, MF e MDIC, com horizonte de implementação de médio prazo.

Um critério relevante que deve ser respeitado, em particular para financiamento de equipamentos com alto custo de capital para médias e pequenas empresas, é a elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica. Em função da dificuldade que muitas empresas do setor enfrentam em termos de mão de obra qualificada para esse propósito, poderiam ser criadas parcerias público-privadas para treinamentos na realização de projetos técnico-financeiros de processos de baixo carbono. Para tanto, poderiam ser firmados convênios, a partir de 2018, entre Abal, MDIC e MCTIC para a realização das atividades.

Com vistas a promover uma cultura organizacional voltada para ações de efficientização energética, poderiam ser implementados mecanismos de auditoria energética. Este seria um incentivo para empresas que desejam acessar condições diferenciadas de crédito oferecidos por bancos públicos de fomento, e sua implementação seria regulamentada pelo MF e monitorada pelo MDIC e Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), com suporte da Abal. Adicionalmente, é importante a criação de instrumento voltado à substituição de equipamento no final da vida útil. Nesse sentido, poderia ser elaborado um programa de depreciação obrigatória de fornos, com contrapartida relacionada a condições facilitadas de taxa de juros e análise simplificada de crédito no âmbito da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”. Para tanto, é relevante o envolvimento do MDIC, de associações representativas dos setores industriais e do BNDES. Os dois instrumentos poderiam ser implementados a partir de 2020.

Ainda no âmbito regulatório, é necessário estabelecer padrões máximos (metas) de emissões por unidades industriais e/ou combustíveis. A verificação das emissões poderia ocorrer junto ao Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene), que utilizaria informações relativas aos potenciais de mitigação mapeados neste estudo. Assim, seria possível acompanhar, anualmente, o nível de implementação das tecnologias de mitigação propostas no cenário BC.

Os instrumentos regulatórios anteriormente mencionados poderiam ser pré-requisito para obtenção de um selo que seria criado, visando incentivar a adoção de medidas mitigadoras de emissão no setor. No caso, propõe-se criar o “Selo de Eficiência Energética Industrial”, que seria critério para acesso a condições privilegiadas de crédito junto a bancos públicos de fomento. Mais que isso, seria exigido para participação de empresas do setor nos processos licitatórios. Tais instrumentos poderiam ser aplicados a partir de 2020 e seriam liderados pelo MDIC, MMA, MME e bancos públicos de fomento.

No caso das tecnologias inovadoras, é extremamente importante diminuir o tempo de análise para a concessão de patentes. Para tanto, seria fundamental a ampliação do quadro de pessoal técnico no Inpi, assim como a disseminação e o aperfeiçoamento do e-Patentes, sistema que permite o depósito eletrônico de patentes. Trata-se de instrumentos que poderiam ser implementados a partir de 2020 e exigiriam a mobilização do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MP), MDIC e Inpi.

Para a superação das barreiras comportamentais e informacionais, os instrumentos de política pública devem buscar a minimização da resistência existente à entrada de novas tecnologias. Em particular, a barreira associada à falta de informação dos benefícios das ações de efficientização energética poderia ser superada por meio da realização de ações de sensibilização, informação e capacitação. O monitoramento de emissões de GEE também seria necessário, o que permitiria verificar, por exemplo, se os pré-requisitos exigíveis para obtenção de financiamento estão sendo cumpridos. O presente projeto, no qual este estudo está inserido, desenvolveu uma série de atividades com esse propósito, as quais poderiam ser ampliadas ao setor por meio do estabelecimento de acordo de cooperação técnica entre MDIC, MCTIC, Abal, CNI e Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Um parceiro adicional relevante, em particular no que se refere à superação de barreiras comportamentais e culturais, seria o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae). Além da expertise na realização de atividades de sensibilização e capacitação, a inserção nas micro e pequenas empresas facilitaria a execução de ações nesse sentido. Todas as atividades mencionadas poderiam ser implementadas a partir de 2018.

A aplicação de instrumentos de políticas públicas destinados a remover barreiras tecnológicas, em particular, deve estar voltada para acelerar a penetração de tecnologias de baixo carbono ainda não maduras no mercado. Nesse sentido, destacam-se as medidas mapeadas para o cenário BC+I, e é reforçado o papel do MDIC e do MCTIC como agentes indutores da inovação. Nesse caso, deve ser fomentada a P&D voltada para tecnologias de ruptura, sendo o lançamento de editais para o financiamento de projetos específicos de baixo carbono, junto à Financiadora de Estudo e Projetos (Finep), um instrumento relevante para o setor de metalurgia de metais não ferrosos. Ademais, a oferta de estudos conjunturais, estratégicos e tecnológicos para diferentes setores da indústria, destinada ao desenvolvimento sustentável do setor, pela ABDI, deve ser incentivada. Tais instrumentos poderiam ser implementados a partir de 2020.

Para superar a barreira relativa à especificidade das plantas industriais (layout), que muitas vezes limita a adoção de tecnologias de baixo carbono, poderiam ser elaborados estudos detalhados da aplicabilidade das atividades mapeadas pelo projeto para as plantas de metais não ferrosos existentes no Brasil. Esses projetos indicariam o que poderia ser feito em termos de engenharia de processos para adaptar as plantas às referidas tecnologias, em termos de reformas de unidades de equipamentos

(revamp), assim como elaboração de projetos de novas unidades industriais. Para tanto, deveriam ser acessadas linhas de financiamento específicas junto à Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), e as propostas deveriam permitir o estabelecimento de parcerias público-privadas, devendo ABDI e Abal servir de suporte para elaboração das propostas e acompanhar, em conjunto com a Embrapii, a implementação dos projetos.

Finalmente, no que se refere ao fomento ao desenvolvimento de tecnologias de eficiência energética com maior conteúdo local, poderia ser retomado o Plano Brasil Maior, que estabeleceu a política industrial, tecnológica, de serviços e de comércio exterior para o período de 2011 a 2014. O plano poderia ser estendido e direcionado ao fomento de segmentos industriais que objetivariam o desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono mapeadas neste estudo, em nível nacional. Para tanto, poderia utilizar recursos provenientes de mecanismos econômicos previstos para o cumprimento de metas de redução de emissões de GEE que serão mandatórias no país a partir de 2025. Por exemplo, caso seja adotada a precificação de carbono como mecanismo de flexibilização ao cumprimento de metas, parte dos recursos provenientes dela deveria ser direcionada para o referido plano. Por sua vez, a destinação dos recursos para fomento de pesquisa, desenvolvimento e aplicação das tecnologias, entre os diferentes segmentos industriais, seria definida pelo seu comitê gestor, composto por Casa Civil, MDIC, MCTIC, MF e MP.

Uma questão que afeta a competitividade do segmento de alumínio, e consequentemente a capacidade financeira de custear a implementação de tecnologias de baixo carbono, é a importação do produto de competidores com menores custos e maior intensidade de carbono. Idealmente, poderiam ser taxadas importações de países nos quais a intensidade de carbono da produção sejam superiores às verificadas no Brasil. Esse instrumento ainda traria o benefício de mitigar emissões em nível global, na medida em que seria evitado vazamento de carbono.

A seguir, no Quadro 4, encontra-se a consolidação da proposta de instrumentos que deveriam ser aprimorados e/ou implementados com vistas a remover as barreiras associadas à transição do setor para uma economia de baixo carbono. É importante destacar que esses mecanismos são complementares e mutuamente dependentes, o que leva à conclusão de que seu sucesso depende da mobilização de inúmeros atores públicos e privados.

Quadro 4 – Quadro-resumo de Medidas, Barreiras e Instrumentos de Política Pública para Adoção dos Cenários de Baixo Carbono

Medidas	Barreiras	Instrumentos
Uso de materiais isolantes em fornos	• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões; • Ausência de viabilidade econômica; • Competição com outros investimentos; • Conjuntura econômica e setorial recessiva; • Dificuldade e assimetria de acesso, falta e alto custo de transação nas operações de financiamento; • Falta de conhecimento acerca das vantagens da eficiência energética; • Falta de pessoal capacitado para identificar, implementar e monitorar as medidas; • Inadequação das linhas de crédito existentes para financiamento de ações de eficiência energética; • Resistência à substituição de equipamentos; • Restrições à instalação pelo layout das plantas.	• Captação de recursos para investimento em ações de mitigação no GCF, GEF e BID, e CTCN para pequenas empresas; • Criação da linha de crédito “Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria”; • Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos de geração de calor e vapor; • Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial; • Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação para médias e pequenas empresas na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito; • Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento, relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono; • Diversificação das linhas de crédito existentes para atender pequenas, médias e grandes empresas; • Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono; • Inclusão do setor no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira; • Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e elaboração de inventários de emissões como incentivo para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento; • Precificação de carbono a partir de 2025; • Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos e monitoramento de ações de eficiência energética; • Retomada do Plano Brasil Maior, visando ao direcionamento para o fomento de tecnologias industriais de baixo carbono; • Taxação sobre importação de produtos com maior intensidade de carbono que a nacional.
Recuperação de calor		
Otimização do fluxo do ar de combustão		
Otimização da operação de células		
Controle de pressão e vazamento em fornos		
Otimização de motores		

Medidas	Barreiras	Instrumentos
Troca do smelter Soderberg por Prebake	• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões; • Ausência de viabilidade econômica; • Competição com outros investimentos; • Conjuntura econômica e setorial recessiva; • Dificuldade e assimetria de acesso, falta e alto custo de transação nas operações de financiamento; • Elevado custo de importação da tecnologia; • Falta de conhecimento acerca das vantagens da efficientização energética; • Falta de pessoal capacitado para identificar, implementar e monitorar as medidas; • Inadequação das linhas de crédito existentes para financiamento de ações de eficiência energética; • Resistência à substituição de equipamentos; • Restrições à instalação pelo layout das plantas.	• Captação de recursos para investimento em ações de mitigação no GCF, GEF e BID, e CTCN para pequenas empresas; • Criação da linha de crédito "Financiamento a empreendimentos – Finem Eficiência Energética na Indústria"; • Criação de um programa de depreciação obrigatória de equipamentos de geração de calor e vapor; • Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial; • Criação, por meio de parcerias público-privadas, de atividades de capacitação para médias e pequenas empresas na elaboração de projetos de viabilidade técnico-econômica para acesso a crédito; • Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento, relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono; • Desoneração de impostos de importação, associada ao cumprimento de contrapartida relacionada ao arcabouço regulatório de baixo carbono; • Diversificação das linhas de crédito existentes para atender pequenas, médias e grandes empresas; • Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono; • Inclusão do setor no Plano Indústria, ou naquele que vier a sucedê-lo no âmbito da NDC brasileira; • Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e elaboração de inventários de emissões como incentivo para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento; • Precificação de carbono a partir de 2025; • Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos e monitoramento de ações de eficiência energética; • Retomada do Plano Brasil Maior, visando ao direcionamento para o fomento de tecnologias industriais de baixo carbono; • Taxação sobre importação de produtos com maior intensidade de carbono que a nacional.

Medidas	Barreiras	Instrumentos
Tecnologias de ruptura mapeadas no cenário BC+I	• Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões; • Dificuldade de acesso a crédito para realização de investimentos em P&D; • Elevado tempo de análise para concessão de patentes; • Falta de adequação aos padrões, normas e regulamentações; • Falta de capacidade financeira para custear P&D; • Necessidade de importação perante a falta de conteúdo local das tecnologias; • Restrição à instalação pelo layout da planta; • Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias.	• Captação de recursos para investimento em ações inovadoras de mitigação no GCF, GEF e BID; • Contratação de servidores e aprimoramento do sistema e-Patentes para diminuir o tempo médio de análise de patentes pelo Inpi; • Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial; • Desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento, relacionada a ações inovadoras que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono; • Desoneração de impostos de importação de tecnologias inovadoras de baixo carbono; • Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas; • Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; • Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de projetos de pesquisa, desenvolvimento e demonstração das tecnologias inovadoras de baixo carbono; • Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidade das tecnologias de ruptura; • Inclusão do setor no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo; • Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e elaboração de inventários de emissões como incentivo para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento; • Precificação de carbono a partir de 2025, com retorno dos recursos captados mediante possibilidade de taxaço para investimento em P&D de tecnologias de ruptura; • Promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética; • Taxação sobre importação de produtos com maior intensidade de carbono que a nacional.

The background features a large, solid gold shape that resembles a stylized letter 'L' or a corner. In the upper left, there is a smaller gold shape with a jagged, sawtooth-like top edge. A thin, horizontal gold line extends from the right edge of the main 'L' shape. In the bottom right corner, there is a light beige parallelogram.

Considerações
finais

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo identificou possibilidades de mitigação de emissões para o setor metalurgia de metais não ferrosos, baseadas em tecnologias testadas em ambiente operacional ou comprovadas e implantadas na indústria (cenário BC) e de ruptura (cenário BC+I). Adicionalmente, foram avaliados barreiras, cobenefícios e potenciais instrumentos de política pública capazes de viabilizar a adoção dos cenários de baixo carbono.

Considerando os resultados obtidos, nota-se que o setor apresenta relevante potencial de abatimento de emissões. O potencial nos cenários BC e BC+I, com relação ao cenário REF, em 2050, é de 9% e 18%, respectivamente. O potencial de abatimento de emissões de GEE acumulado até 2050, no cenário BC, é de aproximadamente 39 MtCO₂e, sendo a recuperação de calor em fornos a medida mais representativa.

Considerando a taxa de desconto praticada pelo setor, qual seja de 15% ao ano, a principal barreira para a implementação do cenário BC é econômico-financeira, visto que as medidas possuem custos de abatimento positivos. Logo, são demandados instrumentos econômicos com objetivo de tornar as atividades de baixo carbono viáveis: i) criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”; ii) captação de recursos para investimento em ações de mitigação no GCF, GEF e BID, e CTCN para pequenas empresas; iii) diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas; iv) desburocratização da análise de financiamento por bancos públicos de fomento relacionada a ações que mitiguem emissões de GEE, tendo como contrapartida o cumprimento do arcabouço regulatório de baixo carbono; v) precificação de carbono a partir de 2025.

Com vistas a proteger a competitividade do segmento de alumínio, que potencializa a capacidade das empresas em investir nas atividades de baixo carbono, poderiam ser taxadas importações de países nos quais a intensidade de carbono da produção sejam superiores às verificadas no Brasil. Esse instrumentos ainda traria o cobenefício de mitigar emissões em nível global, na medida em que seria evitado vazamento de carbono.

No âmbito regulatório, tecnológico e de informação, também foram identificadas barreiras relevantes à adoção do cenário BC: i) falta de conhecimento técnico para identificar, implementar e operar a medida, em particular em empresas de médio e pequeno porte; ii) risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias; iii) restrição à instalação pelo layout da planta; iv) resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional; v) ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões. Para removê-las, potencializando os cobenefícios associados, foram sugeridos os seguintes instrumentos de política pública: i) financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa,

para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono; ii) promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a coleta de dados de emissão das plantas industriais e preparação de projetos de eficiência energética; iii) estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; iv) criação do Selo de Eficiência Energética Industrial; v) criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que possuam o Selo Eficiência Energética Industrial; vi) obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e apresentação de inventários de emissões para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento.

No caso das tecnologias de rupturas avaliadas no cenário BC+I, os principais entraves são: incerteza acerca da viabilidade comercial; dificuldade de acesso a crédito para investimentos em P&D; e restrição à instalação das tecnologias pelo layout da planta. Para aplicação das medidas, é fundamental a formulação dos seguintes instrumentos: i) desoneração de importações de componentes-chave das tecnologias inovadoras; ii) financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de projetos PD&D das tecnologias inovadoras de baixo carbono; iii) precificação do carbono a partir de 2025; iv) financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades das tecnologias.

Apesar de os resultados obtidos serem satisfatórios, este estudo apresentou limitações. A primeira consiste na limitação de análises setoriais no que concerne à não aditividade de potenciais de abatimento. O potencial de abatimento do estudo não representa o potencial líquido de redução de emissões do setor. Este é apenas o total da redução de cada medida aplicada em relação ao cenário REF. Dessa forma, pode, e está ocorrendo, dupla contagem de redução de emissões, visto que a redução do consumo energético de duas medidas não é necessariamente igual à soma de suas contribuições individuais. Essa característica das curvas de abatimento convencionais e setoriais mostra a necessidade de uma modelagem integrada para a eliminação da dupla contagem e para representar de forma fidedigna o potencial de mitigação do setor.

Além disso, este estudo destaca opções tecnológicas de mitigação de GEE que muitas vezes são consideradas tecnologias de ponta que podem não terem sido difundidas no Brasil. Sendo assim, questões como a aplicabilidade dessas tecnologias no cenário nacional e o custo-Brasil não foram consideradas aqui. Devido à necessidade de importação de tecnologias, como é o caso de *smelters* Prebake, ou mesmo de componentes para que se inicie uma indústria local, às altas taxas de juros para a realização de financiamentos e às constantes variações cambiais, a implementação dessas tecnologias de mitigação se torna difícil. Visando contornar essas questões, procurou-se elencar as principais barreiras e propor políticas públicas que fomentem a implementação dessas tecnologias. Procurou-se destacar as MTD mundialmente para atividades de produção de metais não ferrosos, a fim de entender como elas poderiam contribuir para a mitigação desse setor.

Outra limitação resulta das projeções econômicas consideradas na construção dos cenários. Para tratar essa questão, tendo em vista a transversalidade e a relevância das variáveis macroeconômicas para os cenários setoriais de emissões, é considerada uma segunda visão de crescimento setorial do PIB no âmbito da modelagem integrada, a qual considerará os efeitos de curto e médio prazo do recente contexto econômico nacional. Esta tem resultados que fazem parte da publicação Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono (MCTIC, 2017b).

The background features a large, solid gold shape on the right side. In the upper left, there is a smaller gold shape with a jagged, sawtooth-like top edge. At the bottom right, a tan-colored parallelogram is partially visible, overlapping the gold shape.

Referências

REFERÊNCIAS

AIRES, C. Grupo de Apoio a Pesquisa e Extensão – ESALQ. 2014. Disponível em: <http://www.gape-esalq.com.br/portal/zinc/processo_de_zinco.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2014.

ALCOA. Alcoa no Brasil – Produtos. 2014. Disponível em: <https://www.alcoa.com/brasil/pt/info_page/produtos.asp>. Acesso em: 14 ago. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA – ABESCO. Elevado custo da energia afeta a cadeia do alumínio. 2015. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/elevado-custo-da-energia-afeta-cadeia-do-aluminio/>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – ABIFA (Brasil). Índices setoriais. 2014. Disponível em: <<http://www.abifa.org.br/indices-setoriais/>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL (Brasil). Fundamentos e aplicações do alumínio. São Paulo: ABAL, 2013.

_____. Sítio na rede mundial de computadores. 2014. Disponível em: <<http://www.abal.org.br>>. Acesso em: 12 ago. 2014.

_____. Perfil da indústria brasileira do alumínio. 2018. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/perfil-da-industria/>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

_____. SEMINÁRIO CNI-ABRACE. ENERGIA ELÉTRICA: FATOR DE COMPETITIVIDADE DA INDÚSTRIA. Depoimento da Indústria do Alumínio. Eduardo C. Spalding. Comissão de Energia. Brasília, 31 de março de 2011.

AUSTRÁLIA, C. O. Energy efficiency best practice in the Australian aluminium industry: Summary report. Canberra: Commonwealth of Australia, 2000.

BANGS, C. E. A dynamic MFA approach for greenhouse gas emission projections for the aluminium industry. 2011. Master's thesis. Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Industrial Ecology Programme, Department of Hydraulic and Environmental Engineering. Trondheim, junho de 2011.

BELTRAME, T. F. et al. Gestão da inovação e barreiras para implantação de suas práticas. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Salvador: Brasil, 8 a 11 de outubro de 2013.

BERGH, C. Energy efficiency in the South African crude oil refining industry: Drivers, barriers and opportunities (MSc Sustainable Energy Engineering). University of Cape Town, South Africa. 2012. Disponível em: <http://www.crses.sun.ac.za/files/research/completed-research/other/the-sis_bergh_energyefficiency.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2016.

BORBA, B. S. M. C. et al. Energy-related climate change mitigation in Brazil: Potential, abatement costs and associated policies. *Energy Policy*, v. 49, p. 460-441, 2012.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Preços. 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos>>. Acesso em 15 ago. 2017.

BRASIL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. Indústria do cobre. Rio de Janeiro: BNDES, 1997.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Balanço Energético Nacional 2014 – ano-base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

_____. Balanço Energético Nacional 2017: Ano-base 2016. Brasília: EPE, 2017.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. Fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil. 2015. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764.html>>. Acesso em: 5 mar. 2016.

_____. 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. Brasília: MCTI, 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. Brasília: MCTIC, 2016.

_____. 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. 2017a. Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/2098519/Subsi%CC%81dios+MCTIC+para+elaborac%CC%A7a%CC%83o+NDC_210217.pdf/c3c4bbbd-8656-4d-1c-b2fb-c9abfb44f552>. Acesso em: 18 mar. 2017.

_____. Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono. Brasília: MCTIC, 2017b.

_____. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de mineração e pelotização. Brasília: MCTIC, 2017c.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. Nota técnica Plano Indústria – Alumínio. Brasília: MDIC, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Plano Nacional sobre Mudança do Clima. 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf>. Acesso em: 10 out. 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 2013. Brasília: MME, 2013.

BRICHESI, D. Anuário ABIFA. 2015. Disponível em: <<http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2015/08/Anu%C3%A1rio-ABIFA-Junho-2015.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

BUREAU OF ENERGY EFFICIENCY – BEE. Manual on energy conservation measures in foundry industry. Nova Deli: Ministry of Power, BEE, 2011.

CANADIAN INDUSTRY PROGRAM FOR ENERGY CONSERVATION – CIPEC. Guide to Energy Efficiency Opportunities in Canadian Foundries. Natural Resources Canada, 2003.

CANNON, F. Diminishing carbon dioxide emissions and energy use in foundries via innovative pollution prevention and clever capitalization of heat. 2014. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fgcep.stanford.edu%2Fpdfs%2F2RK4ZjKBF2f71uM4uriP9g%2FFred_Cannon_GCEP_08_web.pdf&ei=eQh2V-J2RIOHIsQSSiYCoAQ&usq=AFQjCNEBRIScWIPD00K-zvJ47IDY7OTNBw&bvm=bv.80642063,d.cWc>. Acesso em: 22 nov. 2014.

CASOTTI, B.; BEL FILHO, E.; DE CASTRO, P. Indústria de fundição: situação atual e perspectivas. BNDES Setorial, p. 121-162, 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI (Brasil). Novas tecnologias para processos industriais: Eficiência energética na indústria. Brasília: CNI, 2010a.

_____. Oportunidades de eficiência energética para a indústria. Relatório setorial metais não ferrosos. André Felipe Simões, Sérgio Bajay. Brasília: CNI, 2010b.

_____. Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional. Brasília: CNI, 2009.

CURRÁS, T. A. Barriers to investment in energy saving technologies: Case study for the energy intensive chemical industry in the Netherlands (MSc Sustainable Development). University of Utrecht, Netherlands. 2010. Disponível em: <<ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2010/o10022.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2010.

D'ÁVILA FILHO, B. Relatório Técnico 61 – Perfil da fundição. Brasília: MME, 2009.

DE FARIAS, J. Relatório Técnico 64 – Perfil do níquel. Brasília: MME, 2009.

DE GOUVELLO, C. Estudo de baixo carbono para o Brasil. Brasília: Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento, 2010. Disponível em: <http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/Relatorio_Principal_integra_Portugues.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2014.

DE LIMA, J. Relatório Técnico 67 – Perfil do estanho. Brasília: MME, 2009.

DOS SANTOS, J. Relatório Técnico 65 – Perfil do zinco. Brasília: MME, 2009.

ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY OFFICE – EERE. U.S. Energy Requirements for Aluminum Production – Historical Perspective, Theoretical Limits and Current Practices. Washington, DC: US DOE/EERE, 2007.

ERONEN, S. et al. Improving the energy efficiency of foundries in Europe. Stocholm: Foundrybench/ Intelligent Energy Europe, 2012.

EUROPEAN COMISSION – EC. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries. Final Draft. Bruxelas: EC Joint Research Centre, 2014.

_____. Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries. Bruxelas: EC Joint Research Centre, 2001.

FUGLEBERG, S. Finnish expert report on best available techniques in zinc production. 1999. Disponível em: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/43123/FE_315.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 out. 2016.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS/ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO – FGV-EASP. Propostas para implementação do Plano Indústria de Baixo Carbono Eficiência Energética na Indústria. Segunda Versão Preliminar. São Paulo: FGV-EASP, 2015.

GESAMTVERBAND DER ALUMINIUMINDUSTRIE – GDA. New efficiency class in aluminium melting furnaces. Dusseldorf: GDA, 2012.

HADDAD, E. Projeções macrossetoriais para o Brasil: 2010-2050. Projeto Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-Chave do Brasil. Subprojeto econômico. Coordenação: Eduardo Haddad. São Paulo: Fipe, 2015. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/354029/Opcoes_de_Mitigacao_de_Emissoes_de_Gases_de_Efeito_Estufa_GEE_em_Setores_Chave_do_Brasil.html%20=#lista>. Acesso em: 18 jul. 2017.

HALSNAES, K. et al. Economics of greenhouse gas limitations – Methodological guidelines. Roskilde, Denmark: UNEP Collaborating Centre on Energy and Environmental/Risø National Laboratory, 1998.

HENRIQUES JR. M. F. Potencial de redução de emissão de gases de efeito estufa pelo uso de energia no setor industrial brasileiro. 2010. 340 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Coppe/PPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

HYDRO. Operações no Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www.hydro.com/pt/A-Hydro-no-Brasil/Operacoes-no-Brasil/Alunorte-Alumina-do-Norte-do-Brasil-SA/>>. Acesso em: 23 ago. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. (Brasil). Chumbo. 2014. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000270.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2014.

_____. Informações e análises da economia mineral brasileira. Rio de Janeiro: Ibram, 2012.

INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS – ICZ. Mercado de chumbo. 2014. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/chumbo-mercado.php>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Energy technologies perspectives 2015: Mobilising innovation to accelerate climate action. Paris: IEA, 2015.

_____. Energy technology transitions for industry. Paris: IEA, 2009.

_____. Tracking industrial energy efficiency and CO₂ emissions. Paris: IEA, 2007.

JAPÃO. New Energy and Industrial Technology Development Organization – NEDO. Global Warming Countermeasures 2008 Revised Edition – Japanese Technologies for Energy Savings/ GHG Emissions Reduction. Kawasaki City, Kanagawa, Japan: Nedo, 2008.

KERMELI, K. et al. Energy efficiency improvement and GHG abatement in the global production of primary aluminium. Energy Efficiency, v. 8, p. 629-666, 2015.

KOGASHI, E. Redução do consumo de combustíveis fósseis das áreas da fundição e conversão de uma metalurgia de cobre. 2008. Monografia. Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA, 2008.

LA ROVERE, E. L. et al. Implicações econômicas e sociais de cenários de mitigação de gases de efeito estufa no Brasil até 2030: Sumário Técnico/Projeto IES-Brasil, Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2016.

LICKS ADVOGADOS – LICKS. Sugestões para o aperfeiçoamento do sistema Brasileiro de concessão de patentes de invenção. 2017. Disponível em: <http://lickslegal.com/pdf/PPHbooklet_pt.pdf>. Acesso em: 15 maio 2017.

MACHADO, I. Processos de fundição e sinterização. São Paulo: USP, 2014.

MÁRTIRES, R. Alumínio. Brasília: DNPM, 2001, p. 1-31.

MATOS, R.; FERREIRA, O. Recuperação de chumbo de baterias automotivas, análise de riscos dos resíduos resultantes. 2007. Disponível em: <<http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/RECUPERA%C3%87%C3%83O%20DE%20CHUMBO%20DE%20BATERIAS%20AUTOMOTIVAS,%20AN%C3%81LISE%20DE%20RISCO%20DOS%20RES%C3%8DDUOS%20RESULTANTE.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2014.

MATSHAMEKO, T. Preliminary investigation of energy conservation potential in the copper-nickel mining industry in Botswana. 2001. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Energy Systems Division, University Of Strathclyde, Botswana, 2001.

MINERAÇÃO TABOCA. Perfil. 2014. Disponível em: <<http://www.mtaboca.com.br/port/aempresa.html>>. Acesso em: 23 ago. 2014.

MINERAL DATA. Séries históricas do setor mineral brasileiro. 2017. Disponível em: <http://mineraldata.cetem.gov.br/mineraldata/app/*>. Acesso em: 25 ago. 2017.

NICKEL INSTITUTE. Nickel in the European Union. Toronto: Nickel Institute, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – UNIDO. Policy options to overcome barriers to industrial energy efficiency in developing countries. Viena: Unido, 2011a.

_____. Barriers to industrial energy efficiency: A literature review. Viena: Unido, 2011b.

_____. Energy efficiency technologies and benefits. Sustainable energy regulation and policymaking for Africa. Viena: Unido, 2013.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Genebra: IPCC, 2006.

_____. Working Group III – Mitigation of Climate Change Fifth Assessment Report (AR5). Chapter 10 – Industry. Genebra: IPCC, 2013.

PARANAPANEMA. Informação a investidores. 2014a. Disponível em: <http://www.paranapanema.com.br/arquivos/investidores/divulgacao-de-resultados/central/2012/Paranapanema_3T12_Release.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2014.

_____. Relatório da Administração 2013. 2014b. Disponível em: <http://www.paranapanema.com.br/arquivos/investidores/divulgacao-de-resultados/central/2013/Paranapanema_4T13_Release.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2014.

PEASE, J. Increasing the energy efficiency of processing. Apresentação. 2007. Disponível em: <<http://www.ceecthefuture.org/wp-content/uploads/2013/02/Energy-efficiency-of-processing-Joe-Pease-2007.pdf?dl=1>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

RATHMANN, R. Impactos da adoção de metas de redução de emissão de gases de efeito estufa sobre a competitividade de setores industriais energointensivos do Brasil. 2012. 412 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Coppe/PPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

RIBEIRO, J. Cobre. Brasília: DNPM, 2001, p. 1-52.

RIEKKOLA-VANHANEN, M. Finnish expert report on best available techniques in nickel production. The Finish Environment. 1999. Disponível em: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40423/FE_316.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 ago. 2014.

RODRIGUES, A. Estanho. Rio de Janeiro: DNPM, 2001, p. 1-29.

SANTOS, J. Práticas ambientais sustentáveis na indústria metalúrgica do cobre: proposta de uso de indicadores de ecoeficiência. 2005. Monografia. Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA2005.

SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. Relatório síntese para projeto para o Banco Mundial – “Cenário de Baixa Emissão de Carbono no Brasil”. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2009.

SILVA, B. Chumbo. Brasília: DNPM, 2001, p. 1-19.

SILVA, J. Processos de fundição. Resende: UERJ, 2009.

SIMÕES, A.; BAJAY, S. Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial – metais não ferrosos. Brasília: CNI, 2010.

SOARES, G. Fundição: mercado, processos e metalurgia. Rio de Janeiro: UFRJ, 2000.

SOBRAL, L. et al. Metalurgia do chumbo: processos de produção e refino. Projeto Santo Amaro. Rio de Janeiro: CETEM, 2012, p. 150-173.

UK. Department of Energy and Climate Change – DECC. Energy demand reduction in industry, business and the public sector. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/policies/energy-demand-reduction-in-industry-business-and-the-public-sector>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP. Estanho. 2014. Disponível em: <<http://ge902estanho2012.wordpress.com/introducao/>>. Acesso em: 29 ago. 2014.

USA. Department of Defense – US DoD. Technology readiness assessment (TRA) guidance. Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering (ASD(R&E)). Washington DC: DoD, 2011.

USA. Environmental Protection Agency – USEPA. Energy Trends in Selected Manufacturing Sectors: Opportunities and Challenges for Environmentally Preferable Energy Outcomes. Washington: Usepa, 2007.

USA. US Energy Information Administration – EIA. Annual Energy Outlook 2015. 2015. Disponível em: <<http://www.eia.gov/forecasts/aeo/>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

VALLAC, H. et al. Technology Innovation for Energy Intensive Industry in the United Kingdom. Birmingham: The Centre for Low Carbon Futures, 2011.

VOTORANTIM METAIS. Produtos. 2014. Disponível em: <<http://www.vmetais.com.br/pt-BR/Negocios/Zinco/Produtos/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 9 ago. 2014.

WINROCK. Energy conservation measures in the foundry sector. New Delhi: Winrock International India, 2006.

WORLD BANK. Overview Brazil. 2016. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/en/country/brazil/overview>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

WORLD ENERGY CONCIL. World energy perspective: Energy efficiency policies: what works and what does not. Londres: World Energy Concil, 2013.

ZILAHY, G. Organisational factors determining the implementation of cleaner production measures in the corporate sector. Journal of Cleaner Production, v. 12, n. 4, p. 311, 2004.

