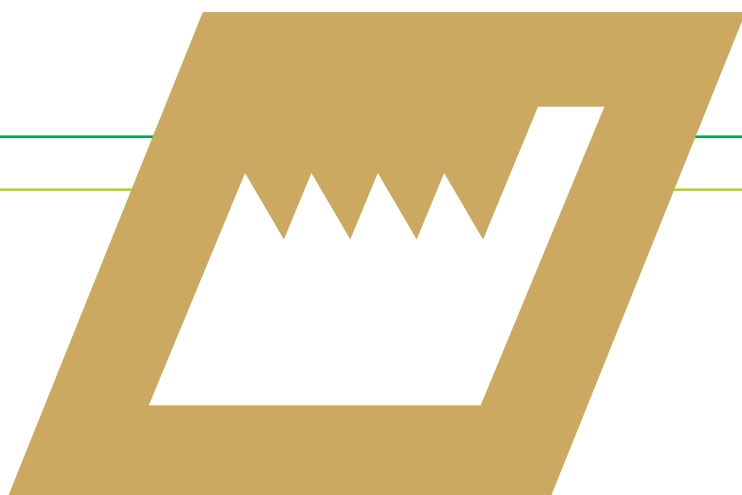




*Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil*



MODELAGEM SETORIAL DE OPÇÕES DE BAIXO CARBONO PARA O SETOR DE CERÂMICA

RÉGIS RATHMANN
(ORGANIZADOR)

***MODELAGEM SETORIAL DE OPÇÕES
DE BAIXO CARBONO PARA O SETOR
DE CERÂMICA***

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

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

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

ISBN:: 978-85-88063-47-1

1. Mudanças Climáticas. 2. Emissão de gases. 3. Cerâmica. 4. Produção de cerâmica - Tecnologia. 5. 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

Camilla Chaves Nunes de Oliveira

Maria Elizabeth Morales Carlos

Revisão

Anna Cristina de Araújo Rodrigues

Projeto Gráfico

Capitular Design Editorial

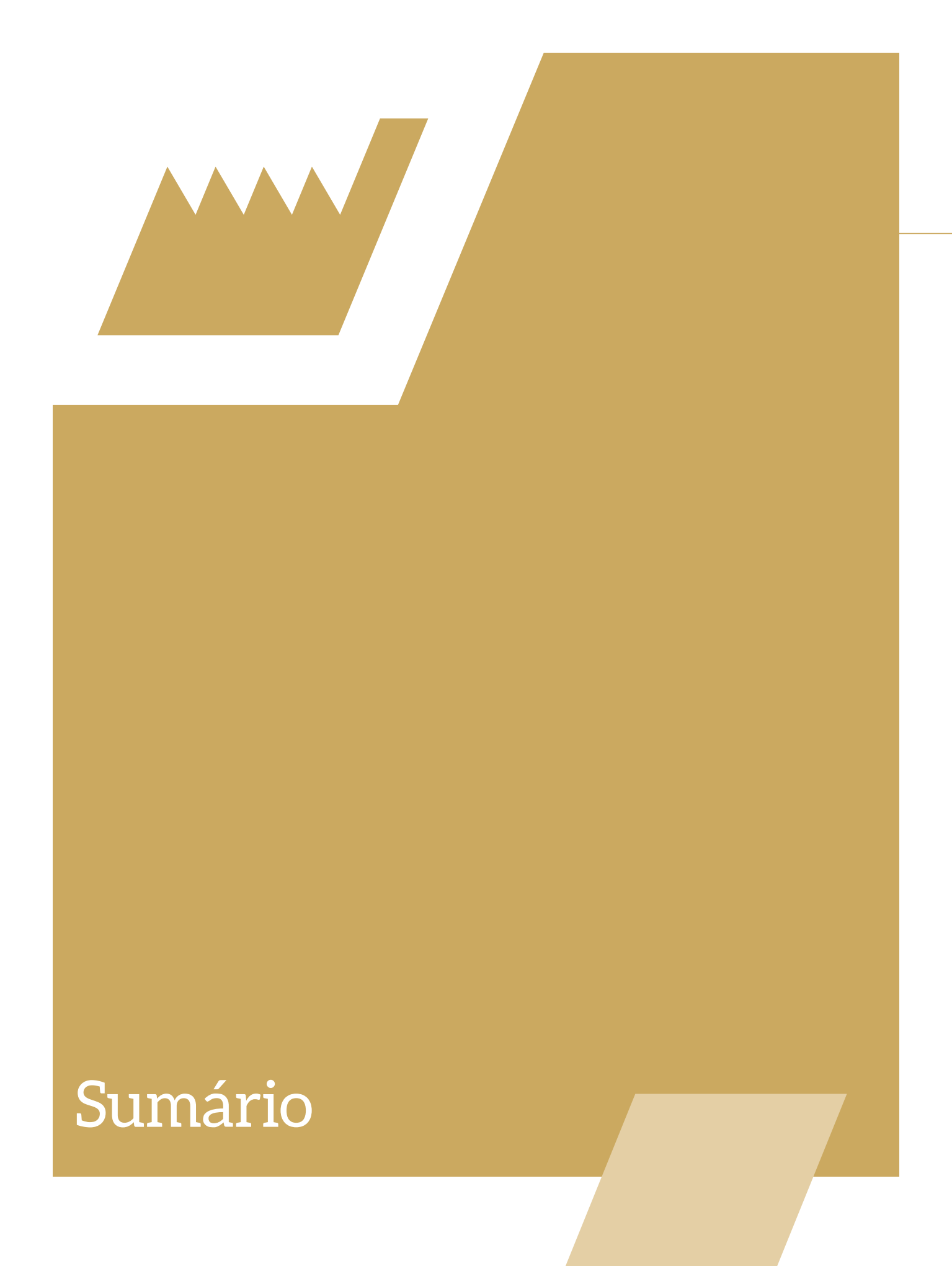
Editoração

Phábrica de Produções: Alecsander Coelho e

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

Bockmann, Kauê Rodrigues, Marcelo Macedo e

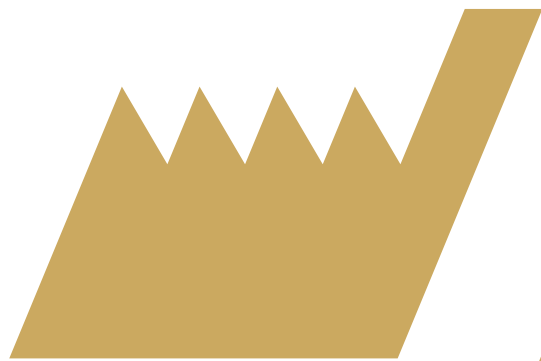
Rodrigo Alves (diagramação)

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 CERÂMICA BRANCA.....	22
1.1.1 Cerâmica de pisos e revestimentos	27
1.1.2 Cerâmica de louças sanitárias	35
1.1.3 Cerâmica de louças e porcelana de mesa	38
1.1.4 Cerâmica elétrica	42
1.1.5 Cerâmica de refratários	43
1.2 CERÂMICA VERMELHA.....	46
1.3 CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR.....	51
2 MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA A EFICIENTIZAÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS NO SETOR CERÂMICO.....	59
2.1 CERÂMICA BRANCA	59
2.1.1 Otimização da combustão em fornos	59
2.1.2 Recuperação de calor da zona de resfriamento de fornos para preaquecimento de ar de combustão	60
2.1.3 Troca de motores elétricos por motores mais eficientes na moagem.....	60
2.1.4 Cogeração em plantas de pisos e revestimentos.....	61
2.2 CERÂMICA VERMELHA	65
3 CENÁRIOS DE REFERÊNCIA, BAIXO CARBONO E BAIXO CARBONO COM INOVAÇÃO.....	69
3.1 CENÁRIO REF	70
3.1.1 Premissas.....	70
3.1.2 Resultados.....	73

3.2 CENÁRIO BC.....	76
3.2.1 Premissas	76
3.2.2 Resultados	78
3.2.3 Custos marginais de abatimento	79
3.3 CENÁRIO BC+I	85
3.3.1 Tecnologias inovadoras para o setor	85
3.3.2 Premissas	88
3.3.3 Resultados	89
 4 SUBSÍDIOS À FORMULAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA A ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO	 93
4.1 BARREIRAS E COBENEFÍCIOS À IMPLEMENTAÇÃO DAS ATIVIDADES DE BAIXO CARBONO NO SETOR.....	94
4.2 SÍNTESE DE EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS COM POLÍTICAS PÚBLICAS DE BAIXO CARBONO	96
4.3 INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO	100
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 105
REFERÊNCIAS.....	109



Listas de tabelas,
figuras, quadro e
siglas e acrônimos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção, Faturamento, Empregos Diretos, Número de Empresas e Valor Agregado dos Produtos do Segmento de Cerâmica Branca no Brasil em 2012.....	22
Tabela 2 – Capacidade Produtiva, Produção, Consumo Interno e Exportação de Pisos e Revestimentos no Brasil (milhões de m ²).....	28
Tabela 3 – Distribuição das Empresas de Pisos e Revestimentos por Faixa de Produção (m ² /mês).....	29
Tabela 4 – Percentuais de Custo por Insumo na Produção de Pisos e Revestimentos.....	29
Tabela 5 – Distribuição e Número de Plantas de Cerâmica de Revestimento por Localização	34
Tabela 6 – Distribuição das Plantas de Cerâmica de Revestimento por Estados	34
Tabela 7 – Distribuição do Mercado de Louças Sanitárias por Tipo de Produto e Preços Médios	36
Tabela 8 – Características Operacionais de Tipos de Fornos Usados na Produção de Louça Sanitária	38
Tabela 9 – Distribuição das Plantas de Produção de Louça Sanitária por Estados ..	38
Tabela 10 – Localização e Capacidade das Plantas de Produção de Louças de Mesa em 2009	39
Tabela 11 – Quadro da Exportação e Importação de Louça e Porcelana de Mesa no Brasil entre 2004 e 2009.....	40
Tabela 12 – Quantidade e Localização das Plantas de Produção de Louças de Mesa no estado de São Paulo em 2009.....	42
Tabela 13 – Demanda de Refratários por Setores Industriais (%).....	44
Tabela 14 – Evolução da Produção, Exportação, Importação e Consumo Aparente de Refratários no Brasil (1998-2008).....	44

Tabela 15 – Custo de Transformação e Percentual de Custo de Transformação sobre Custo de Produto Refratário Acabado.....	45
Tabela 16 – Distribuição por Faixa de Produção e Número de Empresas por Faixa de Produção	47
Tabela 17 – Produção e Número de Empregados por Faixa de Produção das Empresas	47
Tabela 18 – Produção, Demandas de Energia Térmica e Elétrica e Consumos Específicos do Setor Cerâmico em 2012	53
Tabela 19 – Produção, Consumos Específicos de Energia e Demandas Térmica e Elétrica nos Segmentos de Cerâmica Branca em 2012.....	53
Tabela 20 – Consumos Específicos de Energia Térmica e Elétrica por Etapas de Produção de Pisos e Revestimentos	54
Tabela 21 – Faixas de Consumo Específico Térmico por Etapas na Produção de Pisos e Revestimentos por Via Úmida	55
Tabela 22 – Consumos Específicos de Energia Térmica por Etapas de Produção de Pisos e Revestimentos por Via Seca	55
Tabela 23 – Consumos Específicos de Energia Elétrica por Etapas de Produção de Pisos e Revestimentos por Via Seca	55
Tabela 24 – Participação Estimada das Etapas do Processo na Demanda e no Consumo de Energia Elétrica numa Empresa de Cerâmica Vermelha de Porte Médio	56
Tabela 25 – Consumo Específico de Energia Térmica por Tipo de Forno	67
Tabela 26 – Potência dos Motores de Alto Rendimento e Economia de Energia.....	67
Tabela 27 – Distribuição Percentual dos Fornos no Setor de Cerâmica Vermelha	70
Tabela 28 – Custo de Investimentos dos Fornos.....	70
Tabela 29 – Proporção entre as Vias Seca e Úmida.....	71
Tabela 30 – Participação dos Combustíveis na Via Seca	71
Tabela 31 – Participação dos Combustível na Via Úmida.....	71
Tabela 32 – Taxas Médias de Crescimento Aplicadas na Projeção de Demanda Energética do Setor	71
Tabela 33 – Fatores de Emissão de CO ₂	72
Tabela 34 – Fatores de Emissão de CO ₂ do SIN	73
Tabela 35 – Produção de Cerâmica Vermelha	73

Tabela 36 – Consumo de Energia por Forno de Cerâmica Vermelha	74
Tabela 38 – Produção de Cerâmica Branca	74
Tabela 39 – Consumo Energético em Plantas que Empregam a Rota por Via Seca.....	74
Tabela 40 – Consumo Energético em Plantas que Empregam a Rota por Via Úmida.....	75
Tabela 41 – Emissões de CO ₂ no Segmento de Cerâmica Branca.....	75
Tabela 42 – Consumo de Energia no Setor de Cerâmica	75
Tabela 43 – Emissões Totais do Setor de Cerâmica	76
Tabela 44 – Proporção entre as Vias Seca e Úmida	77
Tabela 45 – Participação dos Combustíveis na Via Seca.....	77
Tabela 46 – Participação dos Combustíveis na Via Úmida	77
Tabela 47 – Consumo Energético em Plantas que Empregam a Rota por Via Seca.....	78
Tabela 48 – Consumo Energético em Plantas que Empregam a Rota por Via Úmida....	78
Tabela 49 – Emissões no Segmento de Cerâmica Branca	79
Tabela 50 – Preços dos Combustíveis	81
Tabela 51 – Preços de Petróleo Considerados para o Cálculo do Custo Marginal de Abatimento das Possibilidades de Mitigação	81
Tabela 52 – Preços dos Combustíveis e da Eletricidade para a Taxa de Desconto de 8% ao ano.....	82
Tabela 53 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para a Taxa de Desconto de 8%	83
Tabela 54 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para a Taxa de Desconto de 15%	83
Tabela 55 – Tecnologias Consideradas no Cenário BC+I	88
Tabela 56 – Penetração (%) das Tecnologias Consideradas no Cenário BC+I	89
Tabela 57 – Consumo de Energia do Segmento de Cerâmica Branca no Cenário BC+I	89
Tabela 58 – Emissões de CO ₂ do Segmento de Cerâmica Branca no Cenário BC+I.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma Geral do Processo Produtivo da Cerâmica Branca	24
Figura 2 – Fluxograma Geral de Produção de Cerâmica de Pisos e Revestimentos por Via Úmida.....	31
Figura 3 – Fluxograma Geral de Produção de Cerâmica de Pisos e Revestimentos por Via Seca.....	33
Figura 4 – Fluxograma Geral de Produção de Cerâmica de Louça Sanitária	37
Figura 5 – Fluxograma Geral de Produção de Cerâmica de Louça e Porcelana de Mesa.....	41
Figura 6 – Fluxograma Geral de Produção de Cerâmica de Isoladores Elétricos	43
Figura 7 – Fluxograma de Processo de Fabricação de Refratários Formados.....	46
Figura 8 – Fluxograma do Processo Produtivo da Cerâmica Vermelha.....	49
Figura 9 – Evolução do Consumo de Energéticos no Setor de Cerâmica (mil tep).....	52
Figura 10 – Demanda de Energia do Setor de Mineração e Pelotização (2013-2050).....	76
Figura 11 – Consumo de Energia nos Cenários REF e BC no Segmento de Cerâmica Branca.....	78
Figura 12 – Emissões de CO ₂ nos Cenários REF e BC	79
Figura 13 – Curva de Custos e Potenciais de Abatimento para Taxa de Desconto de 8% a.a.	84
Figura 14 – Curva de Custos e Potenciais de Abatimento para Taxa de Desconto de 15% a.a.	84
Figura 15 – Consumo de Energia nos Cenários REF, BC e BC+I	90
Figura 16 – Emissões de CO ₂ nos Cenários REF, BC e BC+I	90
Figura 17 – Instrumentos Utilizados por Países para Promover a Eficiência Energética na Indústria	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Localização e Denominação das Plantas de Produção de Cerâmica de Pisos e Revestimentos no Brasil	34
Quadro 2 – Quadro-resumo de Medidas, Barreiras e Instrumentos de Política Pública para Adoção dos Cenários de Baixo Carbono	103

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica

AFOLU – Agricultura, florestas e outros usos do solo

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica

BAT – Best available techniques

BEN – Balanço Energético Nacional

BEU – Balanço de Energia Útil

BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul

C2ES – Center for Climate and Energy Solutions

CAL – Custo anual líquido

CCS – Captura e armazenamento de carbono

CENÁRIO BC – Cenário de baixo carbono

CENÁRIO BC+I – Cenário de baixo carbono com inovação

CENÁRIO REF – Cenário de referência

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CH₄ – Metano

CMA – Custos marginais de abatimento

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CO₂ – Dióxido de carbono

CO₂e – Dióxido de carbono equivalente

COMGÁS – Companhia de Gás de São Paulo

COP15 – 15ª Conferência das Partes – Estocolmo

COP21 – 21ª Conferência das Partes – Paris

DECC – Departamento de Energia e Mudança Climática do Reino Unido

DTG – Distribuição de tamanhos dos grânulos

FGV – Fundação Getulio Vargas

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas

GEE – Gases de efeito estufa

GEF – Global Environment Facility

GJ – Gigajoule
GLP – Gás liquefeito de petróleo
GN – Gás natural
HFC – Hidrofluorcarbonetos
ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IEA – Agência Internacional de Energia
INT – Instituto Nacional de Tecnologia
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MME – Ministério de Minas e Energia
MRV – Monitoramento, relato e verificação
MTD – Melhores tecnologias disponíveis
N₂O – Óxido nitroso
O&M – Operação e manutenção
PAC – Programa de Aceleração do Crescimento
PFC – Compostos perfluorados
PIB – Produto interno bruto
PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SF₆ – Hexafluoreto de enxofre
SIN – Sistema Interligado Nacional
TCN – Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
TI – Tecnologia da informação
TRL – Avaliação de prontidão tecnológica
UNEP – United Nations Environment Programme
UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
UNIDO – Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
US DoD – United States Department of Defense
VBP – Valor bruto da produção

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. At the bottom right, a tan-colored parallelogram is partially visible, overlapping 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 o 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, 2012; 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 cerâmica, que abrange os segmentos cerâmica branca e cerâmica vermelha, 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, bem como apresentará os consumos energéticos específicos do setor cerâmico em nível desagregado. No capítulo 2, serão detalhadas as melhores tecnologias disponíveis (MTD), visando, direta ou indiretamente, mitigar de 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, 2017), 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. 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*. 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

A indústria cerâmica no Brasil constitui um dos maiores aglomerados industriais do gênero no mundo. O segmento tem grande importância econômica, com participação no PIB nacional da ordem de 1,0% em 2013, e apresenta características de capilaridade no cenário da economia nacional que o distinguem de todos os outros setores. Engloba micros, pequenas, médias e grandes empresas em todos os estados, tanto no interior quanto em regiões metropolitanas, cobrindo muitos municípios no país. Os produtos incluem artigos variados para a construção civil, como elementos estruturais e para revestimento, louças sanitárias, além de louças de mesa e de decoração, assim como de uso específico, como isoladores elétricos, tijolos refratários, abrasivos, biocerâmica e isolantes térmicos.

As unidades industriais de produção cerâmica apresentam grande amplitude de atuação no ramo de produtos de minerais não metálicos da indústria de transformação, com considerável quantidade de distintos segmentos, em função da diversidade de matérias-primas e processos, assim como das propriedades e destinação dos produtos fabricados. Ao mesmo tempo, constitui um dos ramos industriais mais intensivos em mão de obra no Brasil, envolvendo quase 400 mil empregos diretos em 2013, dos quais $\frac{3}{4}$ são no segmento de cerâmica vermelha em função da sua grande participação no número de indústrias (cerca de 88%, contando as microempresas).

O setor cerâmico é grande demandante de substâncias minerais naturais e beneficiadas e congrega dois segmentos específicos, o de cerâmica vermelha, também chamada cerâmica estrutural, que emprega argilas de cor avermelhada, e o de cerâmica branca, que emprega ampla gama de insumos minerais, inclusive argilas avermelhadas, aglutinando diversos subsegmentos.

A extração e produção de matérias-primas que atendem o setor costuma ser bastante regionalizada, diante do baixo valor agregado do produto e do custo com transporte.

Em termos ambientais, vem ocorrendo crescente dificuldade de legalização de áreas de lavras, conseqüentemente, gradual tendência de estruturação de centrais de produção mineral em grande escala, inclusive com etapas de beneficiamento, o que resulta positivamente, por exemplo, em garantia de fornecimento, ganhos de produtividade e redução de custos.

Um diferencial destacado entre os dois segmentos do setor cerâmico se relaciona ao valor agregado dos produtos, que na cerâmica branca é bem mais elevado. Essa característica evidencia considerável desestímulo aos investimentos em modernização na cerâmica vermelha, ao contrário do setor de cerâmica branca, que vem se destacando pela crescente produtividade e competitividade, inclusive

no plano internacional. Todavia, uma tendência recente, relacionada ao aumento do poder aquisitivo da população, às demandas de materiais estruturais (blocos e telhas) nas obras governamentais de infraestrutura e à concorrência de outros tipos de produtos usados na construção civil (cimento, estruturas metálicas, materiais compósitos e outros), vem provocando crescente incorporação de empresas ao processo de melhoria da qualidade dos produtos.

Um dos diferenciais determinantes entre a cerâmica vermelha e a branca ocorre quanto aos insumos energéticos nos processos de produção. Tanto na parcela térmica quanto como na parcela elétrica para acionamento mecânico, controle e iluminação, os processos envolvidos na cerâmica branca são mais intensivos, com alguma variação entre cada subsegmento, em relação aos processos da cerâmica vermelha, o que interfere nos custos de produção.

A cerâmica branca, no Brasil, apesar de configurar um caso de sucesso, explorando boa condição de oferta interna de insumos (matéria-prima de qualidade, gás natural e mão de obra capacitada), que vem permitindo explorar o forte crescimento da demanda do mercado interno, tem, por outro lado, sofrido crescente concorrência econômica de países como a China.

A seguir serão detalhadamente caracterizados os segmentos de cerâmica branca e cerâmica vermelho, com foco nos processos produtivos.

1.1 CERÂMICA BRANCA

Este segmento compreende materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor e que eram agrupados dessa forma pela coloração branca de massa, necessária por razões estéticas ou técnicas.

A subdivisão geralmente aceita para o segmento de cerâmica branca é: pisos e revestimentos, louças sanitárias, louças de mesa, isoladores elétricos e louças refratárias.

Tabela 1 – Produção, Faturamento, Empregos Diretos, Número de Empresas e Valor Agregado dos Produtos do Segmento de Cerâmica Branca no Brasil em 2012

Produtos	Produção (10 ⁶ t/ano)	Faturamento (10 ⁶ R\$/ano)	Empregos diretos	Número de empresas*	Valor agregado (R\$/t)
Pisos/revestimentos	14,600	8.090	24.500	110	554
Refratários	0,575	1.500	6.000	43	2.609
Louças sanitárias	0,300	1.895	8.000	17	6.315
Louças de mesa	0,053	1.200	30.000	500	22.642
Cerâmica elétrica	0,050	200	2.000	5	4.000
Total	15,578	12.885	70.500	675	827

* Números estimados, incluindo diversas microempresas.

Fonte: Elaboração própria a partir de INT, 2012

Os dados apresentados na Tabela 1, relativos a 2012, mostram uma proporção preponderante (93,72%) na fabricação de pisos e revestimentos (14,6 milhões t/ano) do total processado no segmento (15,6 milhões t/ano). Outros subsegmentos participam apenas com: cerâmica refratária – 3,69%; cerâmica de louças sanitárias – 1,93%; cerâmica de louças de mesa – 0,34%; e cerâmica para isoladores elétricos – 0,32%. O presente estudo estará mais focado no segmento específico de pisos e revestimentos.

Outras atividades apresentaram maior demanda de mão de obra, com destaque para o de louça de mesa, que, pelo grande número de empresas envolvidas (500, número que representa quase 74% do total das empresas de cerâmica branca), supera, com 30.000 empregos diretos, o segmento de pisos e revestimentos, que conta 24.500 empregos diretos.

Em termos de faturamento absoluto, o segmento de pisos e revestimentos, em 2012, foi o mais representativo, com 59,9% de toda a cerâmica branca, embora apresente valor agregado unitário (R\$ 554/t) inferior ao do conjunto dos outros segmentos (R\$ 4.443/t). O segmento que operou com o maior valor agregado foi o de louças de mesa, com R\$ 22.642/t. As chamadas cerâmicas avançadas, com ínfima participação em massa na produção do setor, podem atingir valores acima de R\$ 25.000/t.

Em geral, a produção de cerâmica branca consiste em um processo químico em que as matérias-primas são submetidas a transformações, de modo que são adquiridas novas propriedades em cada etapa ou alteradas as suas características físicas e químicas, até se obter o produto final. O processo na cerâmica branca apresenta maior complexidade, já que exige rigoroso controle de matérias-primas e das curvas de queima. Mesmo existindo no Brasil processos bastante variados conforme o tipo de produto, pode-se constatar a existência de três etapas fundamentais de processamento: preparação das matérias-primas, conformação dos produtos (extrusão, torneamento, prensagem e fundição) e processamento térmico (secagem e queima).

A seguir, são detalhadas as etapas do processo produtivo (Figura 1), em nível agregado e por produtos. Cumpre enfatizar que a análise é restrita às atividades que ocorrem no segmento, portanto desconsiderando as etapas de extração e transporte de matérias-primas até as plantas industriais.

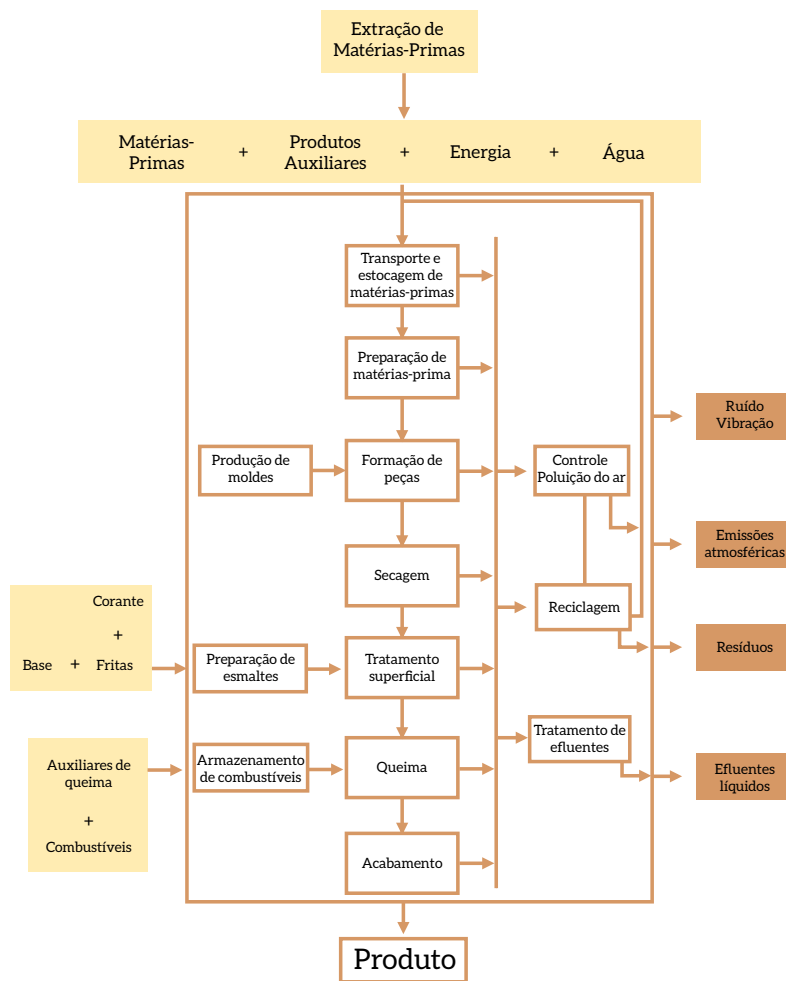


Figura 1 – Fluxograma Geral do Processo Produtivo da Cerâmica Branca

Fonte: CETESB-FIESP, 2008

A. PREPARAÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA

Os revestimentos cerâmicos utilizam grande variedade de matérias-primas que podem ser agregadas em duas categorias principais: os materiais argilosos e os não argilosos.

Conhecidas as matérias-primas, são necessários processos de beneficiamento para sua adequação e correção de propriedades, a fim de garantir as características finais do corpo cerâmico após a queima e viabilizar sua conformação ou moldagem.

As massas ou pastas cerâmicas são constituídas a partir da composição de duas ou mais matérias-primas, além de aditivos e água, sendo essa dosagem de fundamental importância na qualidade do produto final, assim como para a obtenção de uniformidade física e química da massa que fluirá no processo. Os tipos de massa podem ser:

- Barbotina – solução de argila (massa em suspensão) para obtenção de peças em moldes de gesso ou resinas porosas;
- Seca ou semisseca – massa de forma sólida ou granulada para obtenção de peças por prensagem;
- Plástica – massa constituída de um sólido maleável para obtenção de peças por extrusão, seguida ou não de torneamento ou prensagem.

A moagem é um processo de redução do tamanho médio das partículas de matéria-prima recebidas da mineração, em que as partículas são pré-reduzidas para aproximadamente 2 mm. A massa é transferida dos silos para os moinhos por esteiras ou por gravidade. Na moagem em moinhos bola, rolo ou martelo, reduz-se a granulometria das partículas para 1 mm ou menos.

Nos casos de produção da barbotina, emprega-se água na moagem. Essa redução das partículas é de especial importância na produção de placas de revestimento, refratários e louças de mesa.

B. CONFORMAÇÃO (FORMAÇÃO DE PEÇAS)

As matérias-primas são transformadas nas formas geométricas desejadas por meio de processos variados. Geralmente, quando a matéria-prima se apresenta na forma de barbotina, utiliza-se o processo de colagem em moldes de gesso (sanitários); se estiverem em pó, com baixo teor de umidade, por prensagem (caso de azulejos, pisos). Assim, obtém-se uma peça crua com forma definida e com determinadas propriedades mecânicas e físicas que permitem seu manuseio, secagem e posterior queima. Dentre os principais métodos de formação da peça, destacam-se:

- Prensagem – trata-se da conformação por prensagem de massas granuladas de baixo teor de umidade, especialmente empregadas na produção de pisos e revestimentos (processo via seca). No caso de processo de produção de revestimentos por via úmida, a massa cerâmica na forma de barbotina passa, antes da prensagem, pelo processo de secagem, quando a barbotina é injetada sob pressão através de bicos de pulverização em um secador cônico-cilíndrico e entra em contato em fluxo de contracorrente com um jato de ar quente em temperatura próxima de 650°C. O aquecimento de ar é promovido por um gerador de ar quente que emprega, em geral, gás natural. Com a súbita perda de água da barbotina, esta se transforma numa massa granulada semisseca, que cai por gravidade e sai do equipamento *spray-dryer* (atomizador) em sua parte inferior, seguindo para a fase de prensagem. A prensagem pode ser mecânica, isostática (grande precisão) ou hidráulica, que permite pressões mais elevadas e maiores precisão e produtividade, nesse caso, devido à maior velocidade de processamento;
- Fundição em molde – empregada para produtos feitos a partir de barbotina, como louças sanitárias e alguns tipos de louça de mesa, envolve a técnica de moldes de gesso em que a massa é despejada e onde permanece até que o gesso absorva a água presente em suspensão na barbotina, enquanto as partículas sólidas se acomodam à forma do molde, formando a peça a partir da geometria do molde. Após a solidificação da peça, injeta-se ar comprimido nos moldes de forma a expelir a água separada. Nos últimos anos, tem sido empregada de forma crescente a técnica de fundição em moldes de resina porosa, que traz mais velocidade e precisão ao processo;
- Extrusão – usada na fabricação de produtos simétricos, como blocos refratários e isoladores elétricos, submete a massa plástica à compactação forçada por um pistão ou eixo helicoidal através de um bocal com a forma desejada pela seção transversal da peça. Em seguida, as peças são cortadas;

- Torneamento – etapa de formação para peças de seção redonda que emprega tornos mecânicos; em geral, trata-se de etapa posterior à extrusão, considerando a necessidade de acabamento superficial.

O tratamento térmico pode ser considerado a etapa mais importante do processo cerâmico, pois será responsável pelas transformações estruturais e das propriedades finais dos produtos, como: brilho, cor, porosidade, resistência à flexão, ao gretamento, a altas temperaturas, ao ataque de agentes químicos etc.

C. SECAGEM

A secagem ocorre logo após a etapa de conformação das peças devido à necessidade de se reduzir a elevada umidade resultante dessa fase de preparo da massa. A necessidade de controle da umidade pela secagem antes das etapas seguintes é fundamental para evitar defeitos nas peças, como bolhas, empenos e trincas, ainda que a retirada de água demande velocidade lenta e gradual, devendo atingir por volta de 1% de umidade final. O calor de secagem é fornecido em geral por ar quente (160°C a 200°C), produzido pela queima de combustíveis variados (geralmente gasoso ou de biomassa). Os secadores podem ser por bateladas ou contínuos (inclusive do tipo túnel).

D. ESMALTAÇÃO

Após a secagem, muitos produtos recebem fina camada de esmalte ou vidrado, que após a queima apresenta aspecto vítreo. Essa camada de material confere melhor aspecto estético e melhora algumas propriedades físicas, como resistência mecânica e elétrica. As formas de aplicação dos esmaltes nas peças podem ser por pulverização, imersão, pincel, rolo, decalque, cortina, disco, gotejamento e em campo eletrostático. O esmalte em suspensão aquosa com viscosidade adequada para cada tipo de aplicação pode apresentar diversas características e formulações, dependendo da temperatura de queima e da função da peça. Os esmaltes podem ser dos tipos cru, esmalte ou mistura:

- Esmalte cru – mistura de granulometria fina aplicada em forma de suspensão, fundindo-se na queima e aderindo a peças como sanitários e de porcelana. Aplicado em peças queimadas em temperaturas superiores a 1.200°C;
- Esmalte de fritas – composto vítreo insolúvel em água e obtido por fusão e resfriamento brusco, que implica a insolubilização dos componentes em água após tratamento térmico entre 1.300°C e 1.500°C, quando ocorre a fusão das matérias-primas e a formação vítrea. Os esmaltes contendo fritas são empregados em produtos submetidos a temperaturas inferiores a 1.200°C.

E. QUEIMA

A etapa de queima visa atingir a sinterização da estrutura interna do material cerâmico para que o produto final adquira as características físicas desejadas, como resistência mecânica, aspecto (cor, brilho e porosidade), estabilidade dimensional, resistência ao gretamento e a elevadas temperaturas e outros. O processo de queima se dá após a secagem e a esmaltação, em fornos contínuos ou intermitentes, em temperaturas variáveis (em geral, de 1.000°C a 1.400°C), onde se dão três fases distintas:

aquecimento até a temperatura de queima, manutenção por algum tempo nessa temperatura (pata-mar de queima) e resfriamento. Esse ciclo de queima pode variar muito conforme o tipo de forno e o tipo de produto processado. Durante a queima, as peças colocadas no forno perdem a água ainda remanescente na massa cerâmica e desenvolvem novas fases cristalinas e a soldagem dos grãos. As subetapas da queima são:

- Até 100°C – perda de água livre não perdida na secagem;
- Até 200°C – perda de água coloidal, que permanece entre as partículas de argila;
- De 350°C a 650°C – combustão das substâncias orgânicas contidas na argila;
- De 450 a 650°C – decomposição da argila com liberação de vapor;
- Por volta de 570°C – transformação súbita da estrutura do quartzo;
- Acima de 700°C – reações químicas da sílica com a alumina, formando sílico-aluminatos que dão as características físicas desejadas;
- De 800°C a 950°C – decomposição de carbonatos e produção de CO_2 ;
- Acima de 1.000°C – os sílico-aluminosos na forma vítrea começam a amolecer, assimilando as partículas menores e menos fundentes, o que dá ao corpo maior dureza e impermeabilidade (CETESB/FIESP, 2008).

Os fornos utilizados, geralmente, são do tipo túnel com carrinhos ou do tipo a rolos.

F. ACABAMENTO, CLASSIFICAÇÃO E EMBALAGEM

O acabamento inclui possíveis etapas de beneficiamento, inclusive polimento, corte e furação. Por fim, as peças são classificadas e embaladas conforme o apuro de sua fabricação e sua destinação, analisando-se a regularidade dimensional, o acabamento superficial, a existência de trincas, a cor irregular, além de características mecânicas e químicas.

1.1.1 CERÂMICA DE PISOS E REVESTIMENTOS

A produção de pisos e revestimentos configura-se como a principal operação do subsegmento da cerâmica branca. Compreende, além desses produtos, a fabricação lajotas, porcelanatos, grés e pastilhas.

A matéria-prima usualmente é de coloração branca, caso das indústrias de Santa Catarina e do Nordeste, assim como de Mogi das Cruzes e região da Grande São Paulo, mas também pode empregar material de coloração avermelhada, em geral, rico em fundentes, caso de muitas plantas industriais do polo paulista de Santa Gertrudes.

A indústria de pisos e revestimentos no Brasil surgiu a partir de unidades industriais de cerâmica vermelha do começo do século XX que começaram a produzir ladrilhos hidráulicos, azulejos e pastilhas, aproveitando a oportunidade de substituição de produtos importados de elevado custo, ainda que muitos desses produtos não fossem de argila, mas de pós de cimento e mármore, não envolvendo processo de queima.

A partir dos anos 1930 e 1940, com o aumento da demanda de pisos e azulejos no mercado interno, a indústria brasileira incorporou plantas de produção de considerável capacidade, adotando grandes fornos túneis importados com vagonetas. A maioria dessas plantas de produção se situava na região Sudeste, junto aos maiores mercados consumidores de então (São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte). A partir do final dos anos 1950, a indústria brasileira começou a produzir seus primeiros fornos contínuos para a indústria cerâmica.

Porém, o desenvolvimento tecnológico nos processos e equipamentos adotados na indústria de pisos e revestimentos só se daria de maneira mais profunda no final dos anos 1970 e como reflexo das duas crises do petróleo, o que levou ao desenvolvimento dos fornos e secadores rápidos de seção baixa, os chamados fornos de rolo. Esses fornos permitiram a monoqueima rápida (35 a 45 minutos), que trouxe grande economia de insumos energéticos aos processos de produção de peças planas ou de perfil baixo, ainda que exigindo combustíveis mais nobres (e mais caros) que o óleo combustível, como o gás liquefeito de petróleo (GLP) e, posteriormente, o gás natural.

O Brasil apresenta condições favoráveis para o desenvolvimento industrial na área de cerâmica branca, que vem crescendo fortemente nos últimos 15 anos em função de elevada produtividade dos processos industriais adotados, baixos custos de produção (grande oferta de matérias-primas) e considerável amplitude da rede de distribuição de gás natural ocorrida a partir do final da década de 1990.

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER, 2013), a produção nacional foi de 871,1 milhões m² em 2011, o que representou aumento de 15,5% em relação a 2010. Em 2011, o setor empregou diretamente 25.000 pessoas (por volta de 227 empregados/planta industrial), com percentuais médios de 78% na produção, 14% na administração e 8% na área de vendas.

A Tabela 2 apresenta os dados entre 2005 e 2013, em que se nota aumento da capacidade produtiva de 57,1%, da produção de 53,3% e das vendas no mercado interno de 83%. Por outro lado, percebe-se também acentuada queda das exportações a partir de 2006 em virtude da retração do mercado internacional e da valorização do real em face de outras moedas.

Tabela 2 – Capacidade Produtiva, Produção, Consumo Interno e Exportação de Pisos e Revestimentos no Brasil (milhões de m²)

Agregados	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Capacidade produtiva	651	672	712	782	817	875	986	1.004	1.023
Produção	568	594	637	713	715	754	844	866	871
Consumo interno	443	484	535	605	645	700	775	803	834
Exportação	114	115	102	81	61	57	60	59	63

Fonte: Elaboração própria a partir de ANFACER, 2013

Mesmo durante a crise econômica internacional, permaneceu a tendência de crescimento da produção brasileira em função do contínuo processo de ampliação do mercado interno, em função do aumento do poder aquisitivo da população e dos programas habitacionais e de infraestrutura, como o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Esse processo exigiu contínuos investimentos

no aumento da capacidade de produção, implicando na instalação de três a quatro novas plantas de produção por ano entre 2008 e 2013, com capacidades médias acima de 1 milhão de m²/ano, e o equivalente a aportes anuais próximos de R\$ 1 bilhão/ano (uma planta de produção por via seca com capacidade de 1,5 milhão de m²/mês pode custar cerca de US\$ 100 milhões). Toda essa estrutura implica ainda aportes significativos anuais em infraestrutura, como o das redes de gás natural.

Em 2013, a capacidade média de produção das empresas de pisos e revestimentos foi de 775.000 m²/mês, e a produção média de 659.848 m²/mês.

Na Tabela 3, observam-se as faixas de produção de acordo com o porte das empresas, expresso em m²/mês.

Tabela 3 – Distribuição das Empresas de Pisos e Revestimentos por Faixa de Produção (m²/mês)

Porte da empresa	Faixa de produção
Pequena	<500.000
Média	entre 500.000 e 1.000.000
Grande	>1.000.000

Fonte: Elaborada a partir de ANFACER, 2012

Em 2013, o segmento brasileiro de pisos e revestimentos foi o segundo maior produtor mundial de placas cerâmicas, perdendo apenas para a China, com posição dominante no mercado interno brasileiro, sendo também o segundo maior mercado consumidor mundial, o que diminui a dependência do mercado externo, para onde destina menos de 10% de sua produção total.

Quanto aos custos de produção, visando à sua redução, principalmente de energia térmica e elétrica, que costumam incidir em cerca de 30% dos custos totais, desenvolveu-se no Brasil um modo rentável de produção por via seca com argilas de cor avermelhada e sem misturas com outras matérias-primas. Essa rota tecnológica foi adotada amplamente nas indústrias instaladas no polo de Santa Gertrudes-SP.

A composição dos custos de produção de uma planta de pisos e revestimentos (média ponderada entre os dois tipos de processo – vias seca e úmida) pode ser vista na Tabela 4.

Tabela 4 – Percentuais de Custo por Insumo na Produção de Pisos e Revestimentos

Item de custo	Percentual de custo (%)	Item de custo	Percentual de custo (%)
Esmalte	22,2	Manutenção	6,8
Energia térmica	21,9	Embalagem	5,3
Mão de obra direta	10,7	Mão de obra indireta	4,1
Matéria-prima natural	8,1	Materiais auxiliares	2,4
Energia elétrica	7,4	Outros (*)	11,1

* Inclui o custo da água.

Fonte: ANFACER, 2009b apud CABRAL JR. et al., 2010

Conforme mencionado, o processo produtivo das indústrias de pisos e revestimentos pode se dar por via seca ou úmida. Até o final de 2002, suas participações na produção nacional eram equivalentes, mas já havia forte tendência de crescimento da parcela por via seca, que em menos de dez anos passou a representar mais do dobro da parcela por via úmida. As características e tendências de cada processo são apresentadas a seguir.

A. PROCESSO POR VIA ÚMIDA

Adota-se nas plantas de produção mais antigas, principalmente nas de Santa Catarina e nas regiões de Mogi Guaçu e Grande São Paulo (Diadema, São Caetano do Sul, Suzano e Jundiaí). Em geral, se baseia em argilas de cor clara, formuladas em base composta constituída de misturas de matérias-primas minerais, como argilas plásticas, caulim, carbonato, rochas feldspáticas, filito, talco e quartzo, reunindo os necessários materiais fundentes e inertes. A mistura é moída e homogeneizada em moinhos de bola em meio aquoso. Depois, é seca e granulada em um atomizador e conformada por prensagem a seco, para seguir para a decoração e a queima. Em geral, a demanda térmica nos processos por via úmida nas indústrias brasileiras de pisos e revestimentos se distribui da seguinte forma: queima (49%), atomização (39%) e secagem (12%).

Etapas do processo por via úmida:

- Extração de matéria-prima;
- Pré-secagem;
- Mistura (uso intensivo de eletricidade na mistura de argilas, feldspato, quartzo, óxidos e reagentes);
- Moagem a úmido (adição de água e uso intensivo de eletricidade);
- Atomização (uso intensivo de combustível, em geral, gás natural e eletricidade);
- Prensagem (eletricidade);
- Secagem (gás natural);
- Esmaltação (tendo em paralelo a moagem do esmalte, emprega-se esmalte, engobe, cola, impermeabilizantes e tintas);
- Queima (uso intensivo de gás natural e eletricidade);
- Classificação/embalagem.

Em suma, demandam calor as etapas de atomização, secagem e queima e demandam eletricidade todas essas etapas, mas, em especial, as etapas de moagem, moagem de esmalte, prensagem e queima. Na Figura 2, são apresentadas as etapas do processo por via úmida.

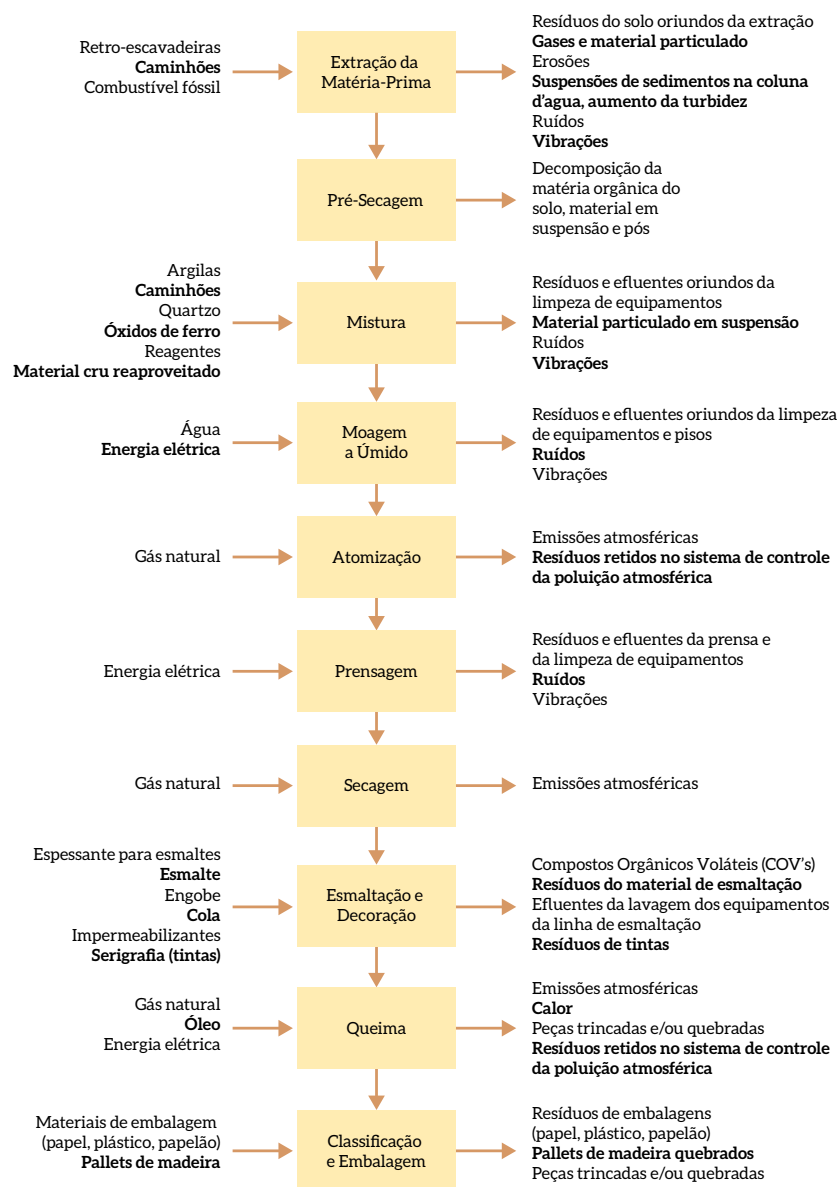


Figura 2 – Fluxograma Geral de Produção de Cerâmica de Pisos e Revestimentos por Via Úmida

Fonte: CETESB-FIESP, 2008

B. PROCESSO POR VIA SECA

Trata-se do processo adotado pela maioria das plantas de produção do polo de Santa Gertrudes-SP e pelas novas plantas do Nordeste. São processos que dispensam o emprego de água na moagem, eliminando o uso de atomizadores (redução de custos com água, eletricidade e energia térmica).

Em geral, a via seca emprega massas de formulação mais simples, com argilas de cor avermelhada, misturando-se rochas com composição de fundentes e argilas plásticas. Essa mistura

de argilas fundentes costuma conferir altos teores de óxidos fundentes que resultam em baixas temperaturas de sinterização (por volta de 1.100°C), garantindo boas propriedades de porosidade e resistência mecânica à massa com ciclos de queima mais breves que nos processamentos de massa úmida.

Em resumo, essa condição contribui para uma sensível redução da demanda energética do processo. Em seguida, a massa é processada em moinhos de martelo ou pendulares em estado ligeiramente úmido, passando em seguida pela prensagem a seco, secagem, decoração e queima. Em geral, a demanda térmica nos processos por via seca nas indústrias brasileiras de pisos e revestimentos se distribui da seguinte forma: secagem (29%) e queima (71%).

Etapas do processo por via seca:

- Extração da matéria-prima (retroescavadeiras empregando óleo diesel);
- Transporte (caminhões demandando óleo diesel);
- Pré-secagem (uso de óleo diesel em britadores e destorroadores primários (uso indireto) e em tratores com implementos de terraplenagem);
- Mistura (uso intensivo de eletricidade na mistura de argilas, feldspato, quartzo, óxidos e reagentes);
- Moagem a seco (uso intensivo de eletricidade);
- Umidificação e granulação (pequena adição de água e uso de eletricidade);
- Prensagem (eletricidade);
- Secagem (gás natural);
- Esmaltação (tendo em paralelo a moagem do esmalte, empregam-se esmalte, engobe, cola, impermeabilizantes e tintas);
- Queima (uso intensivo de gás natural e eletricidade);
- Classificação/embalagem.

Em suma, demandam calor as etapas de atomização, secagem e queima e demandam eletricidade todas essas etapas, mas, em especial, as etapas de moagem, moagem de esmalte, prensagem e queima.

Na Figura 3, apresenta-se o fluxo geral das etapas do processo por via seca.

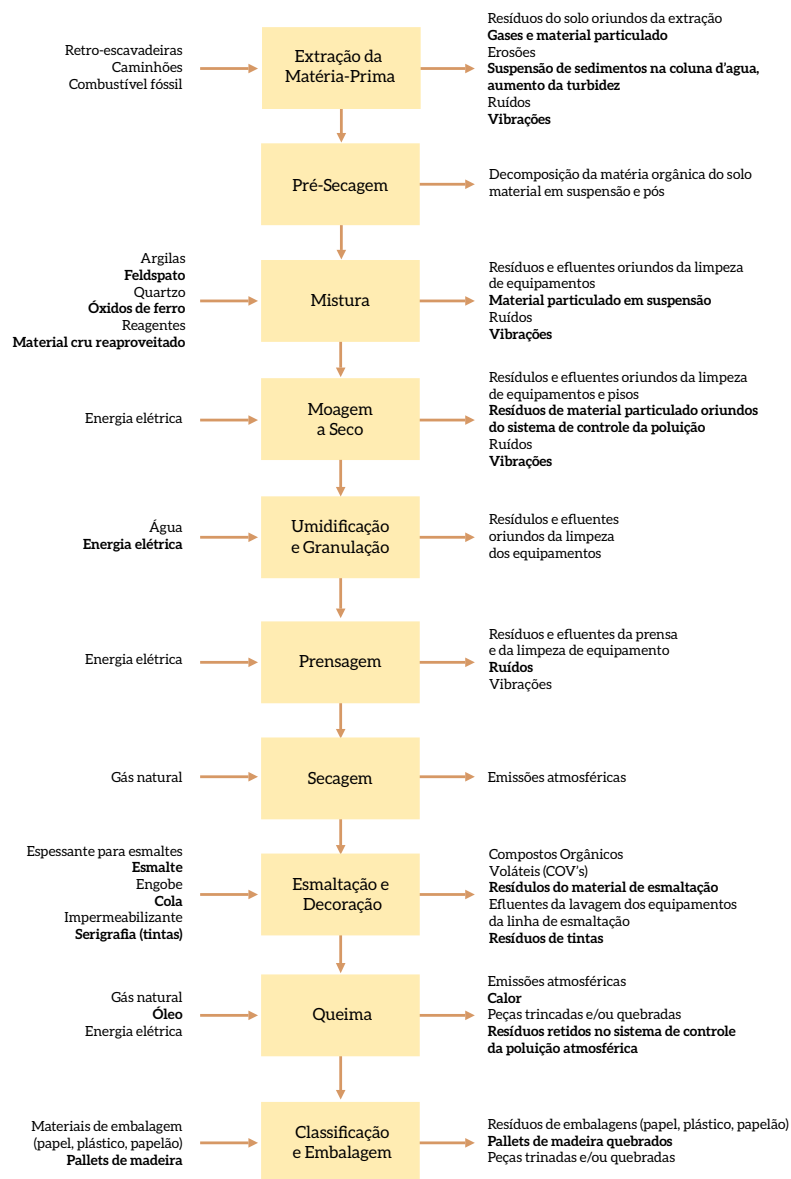


Figura 3 – Fluxograma Geral de Produção de Cerâmica de Pisos e Revestimentos por Via Seca

Fonte: CETESB-FIESP, 2008

As plantas de produção do segmento encontram-se distribuídas por quase todo o país (18 estados), porém apresentam duas áreas de concentração: polos de Santa Gertrudes (SP), onde se dão 84% da produção paulista de pisos e revestimentos, e Criciúma (SC). Identificou-se também tendência recente de crescimento de participação no Nordeste, onde vem sendo instalada nos últimos anos uma considerável quantidade de plantas modernas, quase todas com processo por via seca, com capacidades muito acima da média atual (várias delas acima de 1,5 milhão m²/mês), como no caso da Cerbrás, em Maracanaú (CE), com capacidade de produção de 1,7 milhão de m²/mês e meta de atingir 2,4 milhões m²/mês em 2014. Somente esta planta representaria 3,3% da produção nacional de 2012.

Na Tabela 5, pode-se acompanhar a localização das plantas de produção por região e por estado em 2012.

Tabela 5 – Distribuição e Número de Plantas de Cerâmica de Revestimento por Localização

Região	Santa Gertrudes (SP)	Criciúma (SC)	Região Nordeste	Outros municípios de SP	Outros estados	Total
Número de plantas de produção	51	21	15	7	16	110

Fonte: Elaborada a partir de ANFACER, 2012

Estudos no subsegmento de pisos e revestimentos indicam a existência, em 2012, de 94 empresas e 117 plantas industriais, mas isso engloba empresas de produção de matérias-primas, assim como plantas de produção em fase de desativação, como a Eliane Ornato (ES), desativada em 2007. Neste trabalho, foram consideradas as 110 plantas industriais, discriminadas na Tabela 6 e no Quadro 1.

Tabela 6 – Distribuição das Plantas de Cerâmica de Revestimento por Estados

Estado	SP	SC	RS	BA	MG	PR	PE	PB	SE	ES	CE	RN	GO	MS	AL
Número de plantas	58	21	5	4	4	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1

Fonte: Elaborada a partir de ANFACER, 2012

Quadro 1 – Localização e Denominação das Plantas de Produção de Cerâmica de Pisos e Revestimentos no Brasil

Estado, cidade, número de plantas e denominação das empresas
São Paulo – polo de Santa Gertrudes (51): Santa Gertrudes (15) (Acro, Buschinelli, Almeida, Cedasa, Lineart, Villagrês, Celva, Embramaco, Cepar, Formigrês, Nardinni, Paraluppi, Santa Gertrudes, Imperial e Incopisos); Cordeirópolis (11) (Anhanguera, Artec, Carbus, Cecafi, Fioranno, Ceral, Figueira, Incefra, Karina, Cecol e Triunfo); Rio Claro (6) (Cristofolletti, Delta, ICF, Rocha Grês, Ferreira e Savane); Tambaú (5) (Atlas, Mazza, San Marino, Lepri e Del Fávero); Limeira (2) (Unigrês-Buschinelli e Batistella); Araras (2) (Antigua e Buschinelli); Barra Bonita (2) (Cerba e Duragrês); Ipeúna (2) (Arbi e Alfagrês) e Hortolândia (Sumaré); Vinhedo (Jatobá); Estiva Gerbi (Gerbi); Igarapu do Tietê (Karina); Porto Ferreira (Porto Ferreira) e Piracicaba (Lef Buschinelli), com uma cada.
São Paulo – outras regiões (7): Mogi Guaçu (Chiarelli e Lanzi) e Avaré (Avaré e Cepisa), com duas cada; Suzano (Gyotoku), Guarulhos (Gail) e Tatuí (Strufaldi), com uma cada.
Santa Catarina (21) (inclui quatro empresas de produção de listelos, filetes e revestimentos artísticos): Criciúma (7) (Pisoforte, De Lucca, Eldorado Cecrisa, Eliane Porcelanato, Cecrisa Portinari, Giseli e Gabriela); Cocal do Sul (4) (Eliane I, Eliane II, Eliane III e Eliane Artística); Tubarão (3) (Incocesa, Inti e Itagrês); Tijucas (2) (Portobello e Mosarte); Araranguá (Angel Grês), Urussanga (Ceusa), Jaguaruna (Cejatel), Imbituba (Giseli) e Morro da Fumaça (Moliza), com uma cada.
Rio Grande do Sul (5): Eldorado do Sul (Decorite), Terra de Areia (Santa Fé), Esteio (Cer. Alves), Porto Alegre (Ceramisol) e Charqueadas (Bellagrês), com uma cada.

Estado, cidade, número de plantas e denominação das empresas
Minas Gerais (4): Várzea da Palma (Eliane), Santa Luzia (Cemisa), Pará de Minas e Ibitiré, com uma cada.
Bahia (4): Dias d'Ávila (2) (Incenor); Candeias (Moliza) e Camaçari (Eliane), com uma cada.
Paraná (3): Curitiba (Casa Grande), Campo Largo (Incepa) e São Mateus do Sul (Incepa).
Pernambuco (3): Cabo de Santo Agostinho (3) (Pamesa, Porto Rico e Brennand).
Paraíba (3): Conde (3) (Elisabeth Revestimentos, Elisabeth Porcelanato e Salema).
Sergipe (2): Nossa Senhora do Socorro (Cerâmica Sergipe-Escorial) e Aracaju (Santa Márcia), com uma cada.
Espírito Santo (2): Serra (2) (Biancogrés e Incesa).
Goiás (1): Anápolis (Cemina).
Mato Grosso do Sul (1): Rio Verde (Fênix).
Alagoas (1): Maceió.
Ceará (1): Maracanaú (Cerbras).
Rio Grande do Norte (1): Mossoró (Itagrês-Porcelanati)
TOTAL: 110 plantas industriais

Fonte: Elaborado a partir de INT, 2012

Dentre as maiores empresas de pisos e revestimentos no mercado produtor brasileiro, destacam-se a Cecrisa, a Eliane e a Portobello, todas de Santa Catarina e com ampla tradição de atuação no mercado nacional. Todas elas contam com duas ou mais plantas de produção, algumas fora do estado de origem. Em quase todos os casos, essas empresas operam com processos por via úmida.

1.1.2 CERÂMICA DE LOUÇAS SANITÁRIAS

A indústria cerâmica de sanitários surgiu no Brasil na segunda década do século XX, a partir da união de duas cerâmicas existentes até então que fabricavam utensílios cerâmicos de uso doméstico (potes e panelas) e louça de mesa. Até então, as louças sanitárias eram importadas. Todavia, somente a partir do final dos anos 1950 é que o setor se tornou mais dinâmico e começou a ter a participação de fabricantes de maior porte, incluindo-se grupos estrangeiros, como a American Standard (EUA) e, mais tarde, o Grupo Roca (Espanha). Porém, foi a partir dos anos 1970, com o grande desenvolvimento da construção civil no país, que o setor deslançou a construção de novas unidades industriais e as exportações, que atualmente atingem dezenas de países, com destaque para EUA, Argentina e Paraguai.

O subsegmento de cerâmica de louças sanitárias produz bacias, caixas d'água, bidês, lavatórios, colunas, mictórios, tanques de lavar roupa e acessórios. No Brasil, como na maioria dos países, o mercado produtor é oligopolizado (11 empresas e 17 unidades industriais, com 65% de participação de duas empresas (Deca e Roca) e atuação de plantas industriais de média e grande capacidade de produção. Ainda assim, nos últimos anos, vem crescendo a proporção de pequenas empresas voltadas para a produção de baixo custo (sete novos fabricantes, sendo quatro no Nordeste e três em Minas Gerais), as quais já atingem cerca de 10% do mercado, explorando a parcela crescente de consumo da baixa classe média.

A produção brasileira (capacidade instalada de 25 milhões de peças/ano) apresentou, entre 1999 e 2009, forte incremento (53,3%), passando de 13,7 milhões de peças/ano, em 1999, para cerca de 21,0 milhões de peças, em 2009, correspondendo a um faturamento de R\$ 1,8 bilhão. Tomando por base a produção de 21 milhões de peças/ano e peso médio de 13 kg/peça, estima-se demanda de matéria-prima (argila, caulim e fundentes) da ordem de 300 mil t/ano e produção efetiva de 285 mil t/ano, considerando perda média de produção da ordem de 5%. O comportamento das vendas do setor apresenta relação direta com o desempenho da construção civil.

Na Tabela 7, apresenta-se a participação por produto na produção total, e os preços médios por produto.

Tabela 7 – Distribuição do Mercado de Louças Sanitárias por Tipo de Produto e Preços Médios

Tipo	Bacias c/ caixa	Lavatórios	Cubas	Bacias	Tanques	Mictórios
Participação por produto (%)	25	25	20	20	8	2
Preço médio (R\$)	180,0	60,0	40,0	70,0	170,0	130,0

Fonte: Elaborada a partir de INT, 2012

Em 2008, a produção nacional foi uma das seis maiores do mundo, rivalizando com China, México, Turquia, Bulgária e Rússia. Por outro lado, o Brasil detém um dos maiores mercados consumidores, disputando com China, EUA, Índia, Japão, Rússia e Espanha, tendo assimilado cerca de 90% da produção nacional. Quanto às exportações, foram afetadas a partir do final de 2007, caindo da média tradicional de 20% da produção nacional para cerca de 10%.

O processo produtivo nas plantas industriais de louças sanitárias envolve, em geral, as seguintes etapas:

- Preparação da massa (adição de argilas cauliníticas e caulim – matérias-primas plásticas; e não plásticas – como pó de granito e pegmatito, que adiciona quartzo e feldspato, resultando, com a adição de defloculantes, num material particulado em suspensão);
- Moagem a úmido ou a seco (demanda de água e uso intensivo de eletricidade);
- Agitação mecânica e formação da barbotina;
- Bombeamento da barbotina e enchimento – colagem das peças nos moldes de fundição (envolve a preparação prévia de molde de gesso, molde original, matriz e molde) ou injeção da barbotina em moldes de resina porosa;
- Acabamento;
- Secagem (ar quente a partir de aquecedor a gás natural);

- Esmaltação (adição de esmalte e água, envolvendo a preparação prévia de esmalte – dosagem de matérias-primas), visando à melhoria da estética, impermeabilização e resistência mecânica;
- Moagem a úmido;
- Peneiramento e estocagem do vidrado;
- Queima (uso intensivo de gás natural; temperatura: 1.180oC a 1.280oC);
- Classificação.

O processo tem como parâmetro básico a obtenção de produtos com absorção de água abaixo de 0,75%.

A Figura 4 apresenta o fluxograma geral do processo de louças sanitárias.

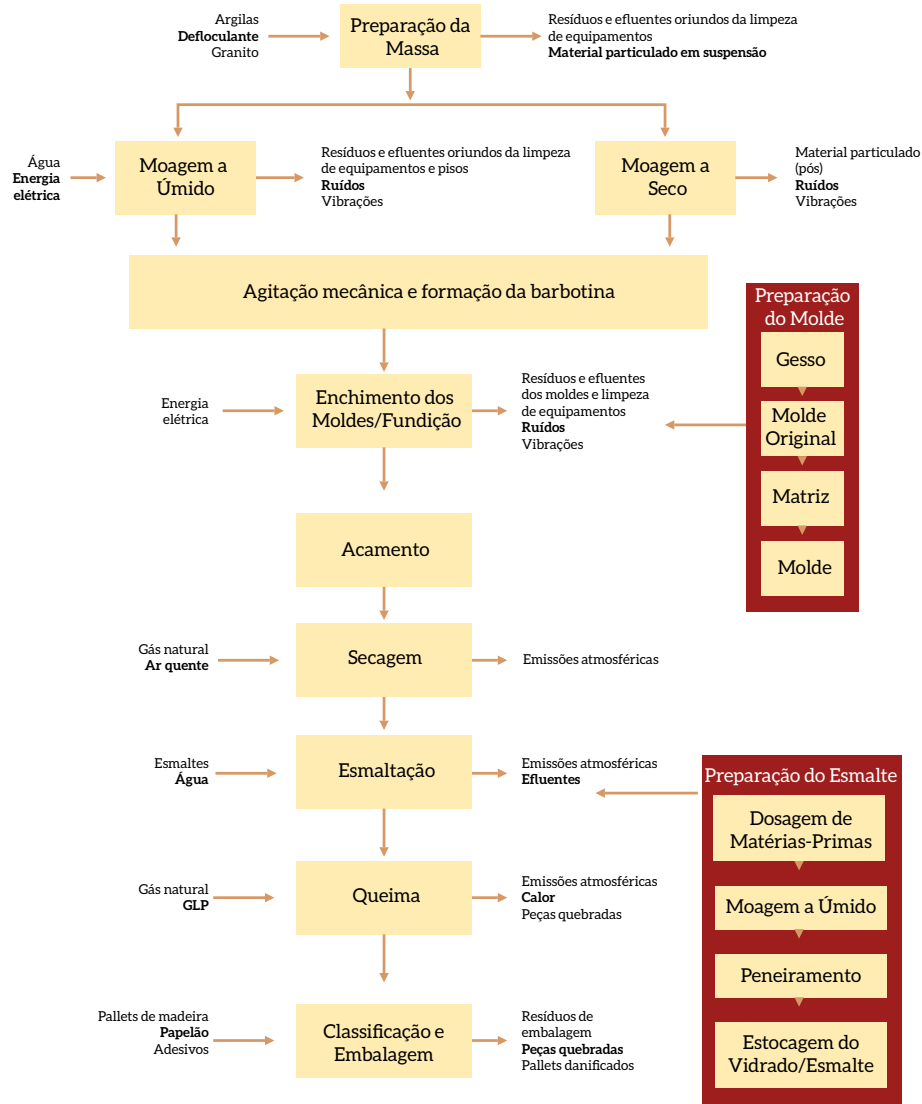


Figura 4 – Fluxograma Geral de Produção de Cerâmica de Louça Sanitária

Fonte: CETESB-FIESP, 2008

No processo de queima de louças sanitárias, podem ser empregados diversos tipos de fornos, em distintas condições de operação, como mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 – Características Operacionais de Tipos de Fornos Usados na Produção de Louça Sanitária

Tipo de forno	Temperatura (°C)	Tempo de queima (h)	Demanda específica de energia (kcal/kg)
Túnel convencional	1.200-1.280	16-24	1.600-2.200
Túnel moderno com boa isolamento	1.230-1.260	10-18	1.000-1.600
Forno de rolo	1.230-1.260	8-12	740-1.000
Lançadeira, queima de reparo	1.180-1.220	12-23	1.800-2.200
Lançadeira, primeira queima	1.240-1.260	12-23	2.200-2.500

Fonte: Elaborada a partir de MENDO, 2009

Em geral, os fornos usados na queima de cerâmicas sanitárias operam com gás natural, GLP ou eletricidade, nesse caso, com índices de consumo específico de 750 a 900 kcal/kg. Quanto às capacidades de produção, tais fornos, com quaisquer tipos de energéticos, processam de 2.000 a 20.000 t/ano de produto final.

Na Tabela 9, encontra-se a distribuição e denominação das plantas de produção de louça sanitária por estado e municípios:

- Minas Gerais – Roca-Celite (Santa Luzia), Icasa e Fiori (Andradas), Togni (Poços de Caldas) e Santa Clara (Araxá);
- São Paulo - Deca, Ideal Standard e Roca (Jundiaí), Hervy (Taubaté) e IDT Banheiras (Itupeva);
- Pernambuco – Roca-Celite (Recife), Luzarte (Caruaru) e Deca-Monte Carlo (Cabo de Santo Agostinho);
- Paraíba – Santa Aliança e Elisabeth (João Pessoa);
- Espírito Santo – Rocca-Logasa (Serra);
- Rio Grande do Sul – Deca (São Leopoldo).

Tabela 9 – Distribuição das Plantas de Produção de Louça Sanitária por Estados

Estado	MG	SP	PE	PB	ES	RS	Total
Quantidade	5	5	3	2	1	1	17

Fonte: Elaborada a partir de ANFACER, 2012

1.1.3 CERÂMICA DE LOUÇAS E PORCELANA DE MESA

O subsegmento de produção de louça e porcelana de mesa engloba grande quantidade de tipos de produtos porcelanizados, como aparelhos de jantar, jogos de café, travessas, vasilhames para

acondicionar alimentos, vasos, objetos de decoração, ornamentos, entre outros. Quanto ao material empregado, podem ser:

- Faianças – louças (corpos mais porosos) com absorção de água acima de 3,0%;
- Grés – materiais de baixa absorção de água (0,5 a 3,0%);
- Porcelana – mínima absorção de água (menor que 0,5%).

Em 2009, este subsegmento possuía 500 instalações produtoras, com presença majoritária de micro e pequenas empresas, quase todas localizadas nas regiões Sul e Sudeste, que produziram cerca de 200 milhões de peças anuais (cerca de 53 mil toneladas anuais ou 0,267 kg/peça), o que representava cerca de 2% da produção mundial. O quadro geral da produção nacional encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Localização e Capacidade das Plantas de Produção de Louças de Mesa em 2009

Empresa ou polo produtores	Unidades	Produção (Peças/ano)
Schmidt	Pomerode (SC) Campo Largo (PR) Mauá (SP)	30.000.000
Oxford	S. Bento do Sul (SC)	50.000.000
Pozzani	Jundiaí (SP)	12.000.000
Campo Largo	Tirolésa (PR) Germer (PR) Outras (PR)	20.000.000 6.000.000 3.000.000
Porto Ferreira	Porto Ferreira, Porto Brasil, Scalla (SP)	30.000.000
Vista Alegre	Porto Alegre (RS)	2.500.000
Pedreira ¹	Porcelútil-Panger, Fiori, Geni, etc.	6.000.000 30.000.000
TOTAL	-	189.500.000

¹ Neste polo produtivo existem cerca de 90 empresas.

Fonte: Elaborada a partir de MENDO, 2009

Em 2009, o subsegmento de produção de louças de mesa envolveu 30 mil empregos diretos, apresentando uma média de 60 funcionários/empresa, ainda que com grande variação (20 a 1.300 empregados/empresa), conforme a escala de produção e o tipo de produto.

Considerando uma média de faturamento da ordem de R\$ 6,00 por peça produzida, estima-se que o faturamento global das indústrias de louça de mesa atuantes no Brasil tenha sido da ordem de R\$ 1,2 bilhão, com exportação média em torno de R\$ 30 milhões. Em termos de importação, o montante foi praticamente o triplo da parcela exportada, o que demonstra a perda de competitividade da indústria nacional (Tabela 11).

Tabela 11 – Quadro da Exportação e Importação de Louça e Porcelana de Mesa no Brasil entre 2004 e 2009

Ano	Exportação (t)	Exportação (10 ³ US\$)	Importação (t)	Importação (10 ³ US\$)
2004	15.135	19.226	18.178	6.910
2005	12.773	16.629	17.244	9.009
2006	10.739	18.603	19.610	14.362
2007	9.820	20.516	33.084	27.671
2008	7.494	18.089	36.425	40.799
2009	5.970	11.620	28.353	38.310
Total	61.932	104.684	124.541	98.750

Fonte: Elaborado a partir RUIZ, 2011

A produção de louça de mesa nas plantas industriais envolve as seguintes etapas:

- Preparação da massa (adição de caulim, argilas e feldspato);
- Moagem (adição de água e energia elétrica);
- Desagregação e peneiramento (água e energia elétrica);
- Filtro prensa (energia elétrica);
- Extrusão e torneamento (intensivas em energia elétrica) ou agitação em tanque de barbotina;
- Enchimento dos moldes de fundição e remoção da peça do molde (água e defloculante);
- Acabamento;
- Secagem (ar quente aquecido com gás natural);
- Queima do biscoito (GLP, gás natural ou eletricidade; temperatura de 1.200oC);
- Esmaltação (preparação prévia do esmalte: dosagem de matérias-primas, moagem a úmido, peneiramento e aplicação do vidrado/esmalte);
- Queima do vidrado/esmalte (gás natural, GLP ou eletricidade; temperatura de 1.200oC);
- Decoração (adição de água, tinta e decalques);
- Queima (uso de gás natural, GLP ou energia elétrica; temperatura de 1.200oC);
- Classificação-embalagem.

Na Figura 5, mostra-se um fluxograma das várias etapas do processo de produção de louças e porcelanas de mesa.

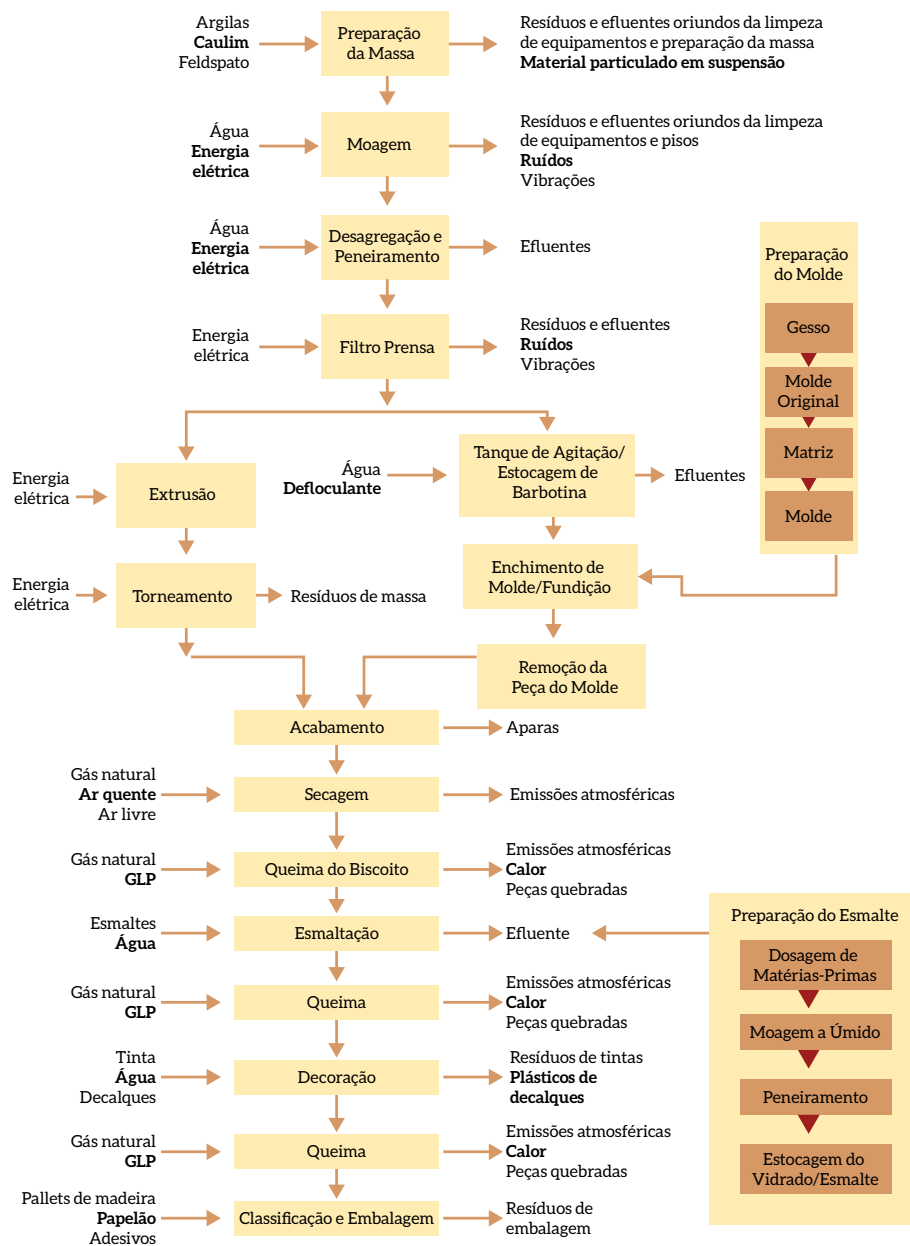


Figura 5 – Fluxograma Geral de Produção de Cerâmica de Louça e Porcelana de Mesa

Fonte: CETESB-FIESP, 2008

Em 2009, somente no estado de São Paulo, encontravam-se instaladas quase 350 plantas de produção do subsegmento, a maior parte concentrada nos municípios de Pedreira e Porto Ferreira, incluindo-se, entre elas, alguns dos maiores fabricantes nacionais. A Tabela 12 apresenta a localização e a quantidade das principais empresas desse estado.

Em termos nacionais, os maiores fabricantes são: Cerâmica Oxford e Porcelana Schmidt, de Santa Catarina; Tirolésa, do Paraná; e Indústrias Pozzani, de São Paulo.

Tabela 12 – Quantidade e Localização das Plantas de Produção de Louças de Mesa no estado de São Paulo em 2009

Município	Quantidade de empresas	Município	Quantidade de empresas
Pedreira	89	Cordeirópolis	7
Porto Ferreira	80	Rio Claro	7
Santa Gertrudes	20	Bragança Paulista	6
Jaboticabal	15	Campinas	6
São Paulo	15	Indiana	5
Tambaú	14	Mauá	5
Jundiaí	11	Monte Mor	5
Mogi Guaçu	11	São Carlos	5
Valinhos	9	Vinhedo	5
Piracicaba	8		
São Caetano do Sul	8		

Fonte: Elaborada a partir de MENDO, 2009

1.1.4 CERÂMICA ELÉTRICA

Em 2010, este subsegmento contava com cinco grandes empresas, cuja produção é utilizada para aplicações elétricas em diversas áreas industriais. A produção totalizou cerca de 50.000 toneladas, perante uma capacidade instalada anual de 70 mil toneladas.

O processo de fabricação mecânica pode ser realizado por prensagem isostática, extrusão ou injeção de mole, com consumo elétrico específico estimado da ordem de 50 kWh/t. Em seguida, são realizadas as etapas de queima em fornos de sinterização em temperaturas elevadas e em sistemas de tratamento térmico, com consumo térmico específico total em torno de 5.000 kcal/kg.

Na Figura 6, é apresentado o fluxograma geral das várias etapas do processo de produção de isoladores elétricos.

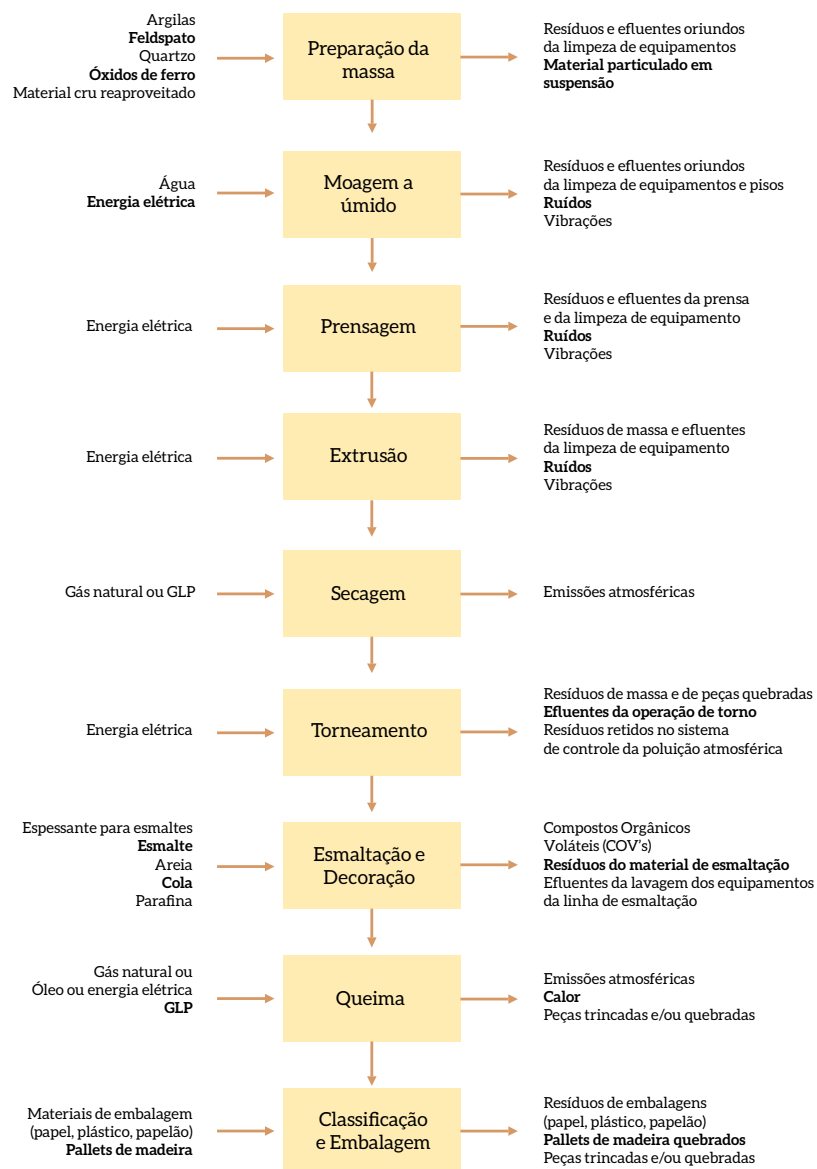


Figura 6 – Fluxograma Geral de Produção de Cerâmica de Isoladores Elétricos

Fonte: CETESB-FIESP, 2008

As fábricas encontravam-se instaladas em São Paulo, Paraná e Ceará, e empregavam cerca de 2.000 funcionários. O mercado exportador absorvia em torno de 10% da produção nacional.

1.1.5 CERÂMICA DE REFRATÁRIOS

Este subsegmento envolve as indústrias cerâmicas que fabricam materiais refratários para a indústria, abrangendo grande diversidade de produtos com a finalidade de manter, armazenar e ceder calor em condições severas. Os refratários devem suportar elevadas temperaturas em condições específicas de processo e de operação, e estarem aptos a lidar com variações bruscas de

temperatura, esforços mecânicos, abrasão, ataques químicos, principalmente corrosão, e outras exigências específicas. Grande parte da demanda de materiais refratários provém da indústria de base, com destaque para as indústrias siderúrgica, química e petroquímica, além de fundições de ferro e aço, metalurgia de metais não ferrosos (alumínio) e minerais não metálicos, como cimento, cal, vidro, cerâmica e outros.

Na Tabela 13, mostra-se a demanda industrial de refratários na indústria brasileira em 2009.

Tabela 13 – Demanda de Refratários por Setores Industriais (%)

Segmentos industriais	Participação no consumo (%)
Siderurgia	70
Cimento e cal	8
Ligas e metais não ferrosos	7
Fundição de ferro e aço	5
Vidro	3
Química e petroquímica	2
Outros	5

Fonte: Elaborado a partir de MENDO, 2009

Em 2008, o consumo interno aparente de refratários totalizou cerca de 500 mil toneladas, tendo sido suprido com cerca de 84 mil toneladas de produtos importados. No mesmo ano, o país exportou quase 33 mil toneladas, valendo destacar que, em função da valorização da moeda nacional, os montantes exportados sofreram acentuado decréscimo entre 2006 e 2008, tendo retomado o comportamento crescente nos anos seguintes, mas de maneira pouco expressiva. Na Tabela 14, observa-se produção, exportação, importação e consumo aparente de refratários no mercado nacional entre 1998 e 2008.

Tabela 14 – Evolução da Produção, Exportação, Importação e Consumo Aparente de Refratários no Brasil (1998-2008)

Ano	Produção	Exportação	Importação
	(mil toneladas)		
1998	427	46	29
1999	440	40	23
2000	449	49	30
2001	438	42	20
2002	458	51	22
2003	475	60	17
2004	486	62	33
2005	481	64	66
2006	492	66	63
2007	519	77	46
2008	543	84	33

Fonte: Elaborada a partir de MENDO, 2009

Os custos de transformação envolvidos nos processos de produção e percentual de participação no custo final do produto são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Custo de Transformação e Percentual de Custo de Transformação sobre Custo de Produto Refratário Acabado

Linha de produto	Custo de transformação (R\$/t)	Custo de transformação/custo de produto acabado (%)
Não moldados	100 a 200	10 a 20
Moldados quimicamente ligados	300 a 500	30 a 40
Moldados queimados	400 a 600	30 a 50
Pré-moldados	500 a 700	40 a 60
Peças especiais	1.000 a 10.000	70 a 80

Fonte: Elaborada a partir de MENDO, 2009

Os produtos refratários são classificados em não moldados, moldados queimados, moldados quimicamente ligados, pré-moldados e peças especiais e envolvem as seguintes etapas básicas de processo:

- Não moldados – moagem, mistura e embalagem;
- Moldados queimados – moagem, mistura, prensagem, queima em forno túnel e embalagem;
- Moldados quimicamente ligados – moagem, mistura, prensagem, queima em estufa e embalagem;
- Pré-moldados – moagem, mistura, moldagem, queima em estufa e embalagem;
- Peças especiais – moagem, mistura, prensagem/moldagem, queima em estufa e embalagem.

Na Figura 7, tem-se o fluxograma das etapas do processo de produção de refratários.

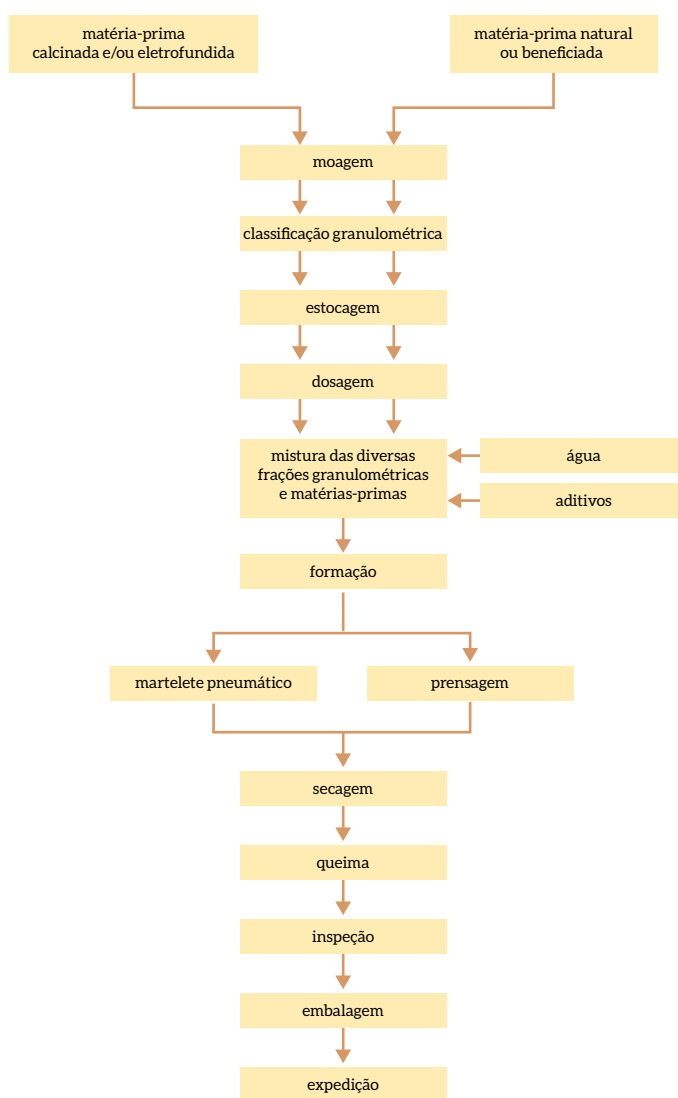


Figura 7 – Fluxograma de Processo de Fabricação de Refratários Formados

Fonte: Elaborada a partir de ABC, 2003

1.2 CERÂMICA VERMELHA

A indústria de cerâmica vermelha no Brasil, também denominada cerâmica estrutural, envolve a produção de elementos estruturais, de vedação e de acabamento para a construção civil (telhas, blocos estruturais e de vedação, tubos, lajotas e pisos). Em 2012, a indústria teve participação de 0,5% do PIB nacional, representando parcela importante da indústria de materiais de construção civil.

Segundo dados da Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER, 2012), o faturamento anual do setor se encontra em torno de R\$ 18 bilhões, envolvendo a participação de 6.903 empresas,

na maior parte micro, pequenas e médias empresas de origem familiar, com a oferta de 293 mil empregos diretos (média de 42,4 empregados por empresa) e 1,25 milhão de empregos indiretos.

Os produtos de cerâmica vermelha são classificados em função do processo de fabricação utilizado, sendo dois os principais: produtos extrudados e produtos prensados.

Entre os produtos extrudados, podem-se citar blocos de vedação ou tijolos furados, lajotas de forro, manilhas e tijolos maciços, entre outros. As empresas produtoras de cerâmica vermelha têm grande variedade de produtos extrudados devido à facilidade de substituição das boquilhas das extrusoras. É o que ocorre, por exemplo, no caso de tijolos de 6, 8, 9 ou 10 furos, retangulares ou redondos.

No caso dos produtos prensados, têm-se, entre os mais representativos, telhas e ladrilhos de piso, entre outros.

Em pesquisa realizada pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT, 2012), verificou-se que a média de produção mensal por empresa no Brasil é de 471 milheiros/empresa ao mês (Tabela 16). E, na Tabela 17, observa-se a produção da cerâmica vermelha em toneladas por ano.

Tabela 16 – Distribuição por Faixa de Produção e Número de Empresas por Faixa de Produção

Faixa de produção (milheiros/empresa.mês)	Número de empresas	Produção média (milheiros/empresa.mês)	Produção (milheiros/ano)
Abaixo de 200	2.770	100	3.324.000
Acima de 200	4.260	713	36.448.560
TOTAL	7.030	471	39.772.560

Fonte: Elaborada a partir de INT, 2012

Tabela 17 – Produção e Número de Empregados por Faixa de Produção das Empresas

Faixa de produção (milheiros/empresa.mês)	Nº de empresas	Empregados por empresa	Nº de empregados	Produção (t/ano)
Abaixo de 200	2.770	10	27.770	7.312.800
Acima de 200	4.260	45	191.700	83.831.688
TOTAL	7.030	31	219.470	91.144.488

Fonte: Elaborada a partir de INT, 2012

Em 2012, existiam no Brasil existiam 7.030 empresas com produção. As unidades produtoras estão presentes em todos os estados brasileiros, com destaque para os seguintes polos fabris:

- Santa Catarina (3 polos – 404 empresas): Morro da Fumaça (274 empresas), englobando, num raio de 20 km, os municípios de Morro da Fumaça (72), Sangão, Jaguaruna, Treze de Maio, Cocal do Sul, Içara e Criciúma; Alto Vale do rio Tijucas (50) e Canelinha (80);
- Paraná (4 polos – 292 empresas): Médio Baixo Vale do Rio Ivaí (61), englobando dez municípios, com destaque para São Carlos do Ivaí (24) e Paraíso do Norte (13); Norte Pioneiro (93), englobando 27 municípios do norte do estado, com destaque para Jataizinho (19) e Siqueira Campos (13); Costa Oeste (82), englobando 25 municípios, com destaque para Nova Santa Rosa (9) e São

Miguel do Iguaçu (7); Prudentópolis-Imbituva (76), englobando sete municípios, com destaque para Prudentópolis (48) e Imbituva (11);

- São Paulo (6 polos – 296 empresas): Itu-Campinas (67), englobando 21 municípios, com destaque para Itu (16), Indaiatuba (8), Jundiaí (5) e Campinas (5); Tatuí-Sorocaba (30), sendo 12 delas em Tatuí; Oeste Paulista (100), Penápolis (16) e Tambaú-Vargem Grande do Sul (23); Barra Bonita-Bariri (60); outros polos: Panorama-Pauliceia, José Bonifácio-Avanhandava, Mogi Guaçu-Itapira;
- Rio de Janeiro (3 polos – 166 empresas): Campos (94), Itaboraí (51), com destaque para os municípios de Itaboraí (28), Rio Bonito (8) e Tanguá (5); e Região Serrana (25), com destaque para os municípios de Paraíba do Sul (8) e Três Rios (6);
- Minas Gerais (7 polos – 257 empresas): Grande Belo Horizonte (69); Monte Carmelo e Abadia dos Dourados (48), Montes Claros e região (33); Sul de Minas (34); Triângulo Mineiro (37), Pará de Minas-Igaratinga (33), Governador Valadares e região (36);
- Bahia (5 polos – 520 empresas): Salvador Litoral Norte (68); Paraguaçu Centro (51); Oeste (71); Litoral Sul (06); Sudoeste (07); outras regiões pulverizadas (292);
- Sergipe (3 polos – 156 empresas): Baixo São Francisco (19); Agreste Central (42); Sul Dergipano (95);
- Rio Grande do Norte (5 polos – 186 empresas): Seridó (99); Baixo Assu (33); Bacia do Trairi-Jacu (21); Bacia do Potengi (08); Zona Centro e Serrana (08);
- Ceará (6 polos – 412 empresas): Noroeste (48); Canindé (26); Caucaia (44); Aquiraz (43); Russas (147); Crato (30); outras regiões (74);
- Piauí (5 polos – 123 empresas): Teresina (36); Barras (25); Corrente (12); Sussuapara (16); outras regiões (34);
- Maranhão (4 polos – 91 empresas): Timon (9); Imperatriz (20); Itapecurumirim (49); outras regiões (13);
- Pará (1 polo – 42 empresas): São Miguel do Guamá (42).

As informações, nesse panorama, indicam a existência de 66 polos principais ou áreas de concentração da produção de cerâmica vermelha no Brasil.

No processo de produção das indústrias de cerâmica vermelha, o consumo de energia térmica é o mais representativo, promovido pelo uso de combustíveis nos processos de queima nos fornos e em eventuais fornalhas de sistemas de secagem. O consumo de energia elétrica se concentra nas etapas de processamento mecânico da massa cerâmica (desintegração, mistura, laminação, extrusão, corte e movimentação), para acionamento mecânico (incluindo o acionamento de exaustores e ventiladores), e iluminação.

Os processos industriais envolvidos apresentam, em geral, as etapas básicas de produção da cerâmica, como mostrado na Figura 8.

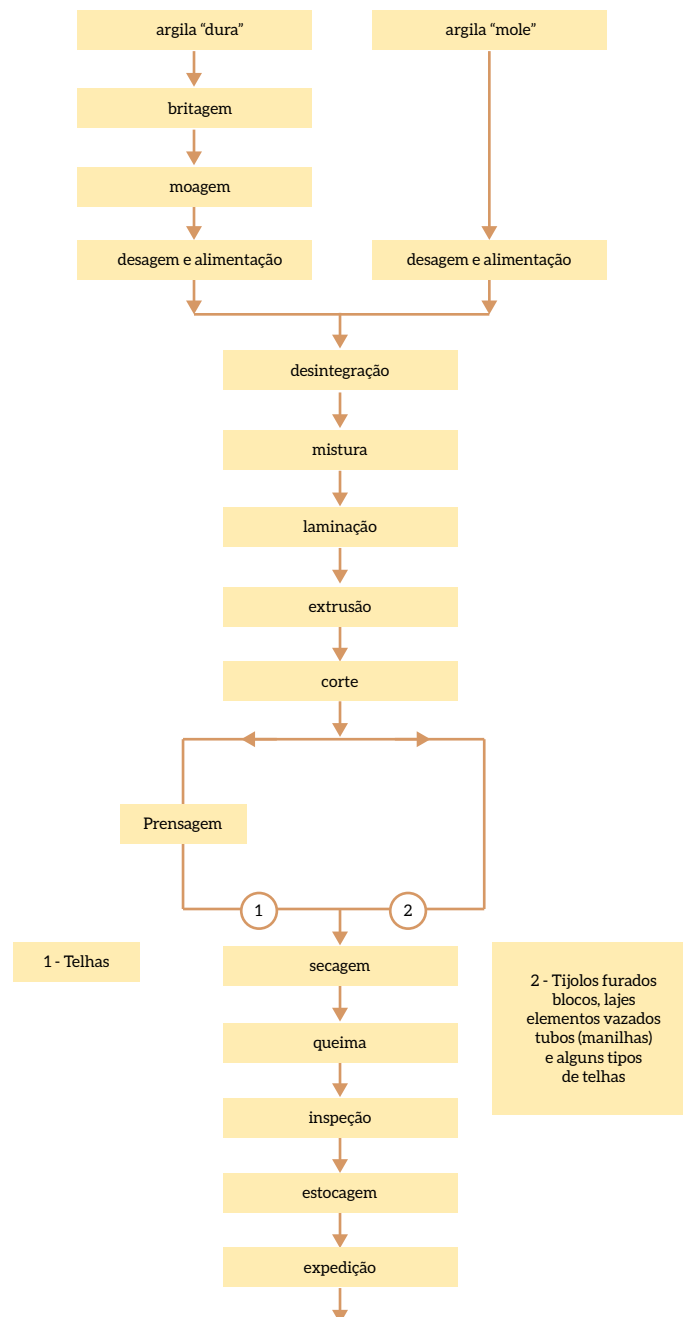


Figura 8 – Fluxograma do Processo Produtivo da Cerâmica Vermelha

Fonte: ABC, 2003

A matéria-prima extraída de jazidas é armazenada em pátios da produtora de cerâmica, sendo utilizada somente após um período aproximado de 8 a 12 meses. Durante esse período, a argila é

revolvida por pás carregadeiras que retiram gases e produtos voláteis de sua constituição. Essa etapa envolve revolvimento e mistura das argilas de diferentes origens e tipos (argilas plásticas e argilas fundentes) para seu conveniente envelhecimento e mistura e para a obtenção de características específicas no produto a ser processado (resistência mecânica, porosidade etc.). Nessa etapa, há consumo de óleo diesel para a operação de tratores e retroescavadeiras. Considerando a operação diária de um trator (15 litros/h) na razão de 3 h/dia (20 dias/mês), o consumo estimado de óleo diesel é da ordem de 900 litros/dia.

A etapa de mistura e dosagem de argila envolve o emprego de caixão alimentador, onde é feita a separação da quantidade de argila necessária ao processo, e a operação de um sistema acionado por motores elétricos de potência total da ordem de 30 cv (cerca de 22 kW), num período diário de 7 h/dia, considerando interrupções do processo. Levando em conta um fator de carregamento médio de 70%, o consumo médio é da ordem de 3.300 kWh/dia.

A desintegração ou destorroamento da argila, visando a redução e homogeneização do tamanho médio dos torrões de argila a ser a misturada, demanda água para manter umidade entre 15% e 25. A energia mecânica para o acionamento dos motores elétricos de potências, em geral, encontra-se na faixa de 5 a 15 cv (3,7 a 11 kW) e é responsável por um consumo entre 600 a 2.000 kWh/mês. Na etapa de laminação, a massa de argila é amassada em formato de lâminas, visando ao alinhamento preferencial de sua estrutura lamelar. A demanda de energia elétrica é semelhante à da etapa de mistura e dosagem.

A conformação da peça por extrusão ou prensagem consiste na transformação de matérias-primas em corpo de forma geométrica desejada, e se dá em processos cuja escolha está necessariamente ligada à geometria (forma e dimensões), às propriedades das matérias-primas e à consequente aptidão a um deles. Quando a matéria-prima se apresenta na forma de massa plástica, serão conformadas por extrusão, conformação plástica e, às vezes, prensagem (telhas). Para os tijolos maciços, em geral feitos em olarias, a massa extrudada normalmente sofre moldagem manual em formas de madeira.

Trata-se da etapa de maior demanda elétrica. No caso da extrusão, considerando valores de potência nominal de acionamento, em geral, na faixa de 100 a 200 cv, há grande contribuição na demanda da planta de produção. Em termos de consumo, considerando um fator de carga médio de 80%, obtêm-se valores da ordem de 9.000 kWh/mês (100 cv) a 18.000 kWh/mês (200 cv).

Em seguida, tem-se o corte da peça, que ocorre somente na fabricação de material extrudado, e a secagem, na qual a peça perde de 20% a 30% da umidade, passando para cerca de 4% a 6% de umidade absoluta. Em termos relativos, a demanda de calor (fornecido pela fornalha) na secagem é de 5% com relação a todo processo produtivo.

Em muitas empresas, ainda se procede à secagem natural, o que traz ineficiências diversas, como: imperfeição do processo, falta de homogeneidade no teor de umidade das peças e baixa produtividade (maior demanda de mão de obra e maior manipulação, que causa defeitos nas peças).

Na secagem artificial, também ocorre demanda elétrica considerável em virtude da operação de

ventiladores, exaustores, queimadores (fornalha) e eventual acionamento elétrico de vagonetas e carrinhos transportadores.

A etapa de queima é quando ocorre a sinterização da estrutura de formação do material argiloso, conferindo a ele as características desejadas de dureza, aspecto, cor e acabamento superficial. Essa etapa é, portanto, a de maior importância, e também a de maior demanda de energia em todo o processo.

A queima se dá em fornos intermitentes, contínuos e semicontínuos. No primeiro grupo, encontram-se fornos de menor porte e produtividade, como: caipira, caieira, paulistinha, abóbada, vagão, plataforma etc. No grupo dos fornos semicontínuos, estão o tradicional forno Hoffmann e os seus derivados com multicâmaras (Cedan, por exemplo); e no grupo dos fornos contínuos, o forno túnel, com rendimento energético acima de todos os demais. Há ainda o moderno forno metálico móvel, que opera por bateladas. O mesmo possui configuração mais avançada e emprega materiais leves, que resultam em economia de energia perante as demais tecnologias disponíveis.

Os fornos operam na faixa entre 800°C a 950°C, empregando geralmente biomassa como combustível (lenha e resíduos diversos) (INT, 2012). O consumo de energia elétrica na etapa de queima pode se dar nos sistemas de alimentação de biomassa picada ou em pó (serragem) e na exaustão dos gases de combustão dos fornos (em geral, motores de 30 a 75 cv com operação contínua, que leva um consumo da ordem de 5.000 kWh/mês – fornos não contínuos a 35.000 kWh/mês – fornos contínuos).

Um ponto importante a ser destacado é que, atualmente, tem se ampliado a fabricação de telhas esmaltadas, cujo processo é semelhante ao de outros produtos da cerâmica, ou seja, após a secagem, faz-se a esmaltação e, em seguida, a queima. Há casos também em que se utiliza o processo de biqueima, isto é, a telha é esmaltada após a primeira queima e, em seguida, sofre uma segunda queima.

As plantas de produção de cerâmica vermelha no Brasil, em geral, apresentam base tecnológica defasada. Em muitos casos, o parque fabril supera 30 anos, assim, apresentam processos e equipamentos que atingiram o final da vida útil (INT, 2012).

1.3 CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR

O setor de cerâmica vem apresentando rápido crescimento no consumo de energia. Entre 1990 e 2013, o crescimento foi de 117%. A partir de 2014, verifica-se queda no consumo setorial de energia, que é derivada da diminuição na demanda de produtos cerâmicos tendo em vista os efeitos da recente recessão econômica no país.

A matriz energética do setor tem passado por grande mudança, tendo reduzido o uso de óleo combustível e aumentado a participação de outros energéticos, por exemplo, gás natural e lenha (Figura 9). A lenha é empregada maciçamente em fornos e secadores do segmento de cerâmica vermelha, e o gás natural usado intensamente na produção dos artefatos de cerâmica branca.

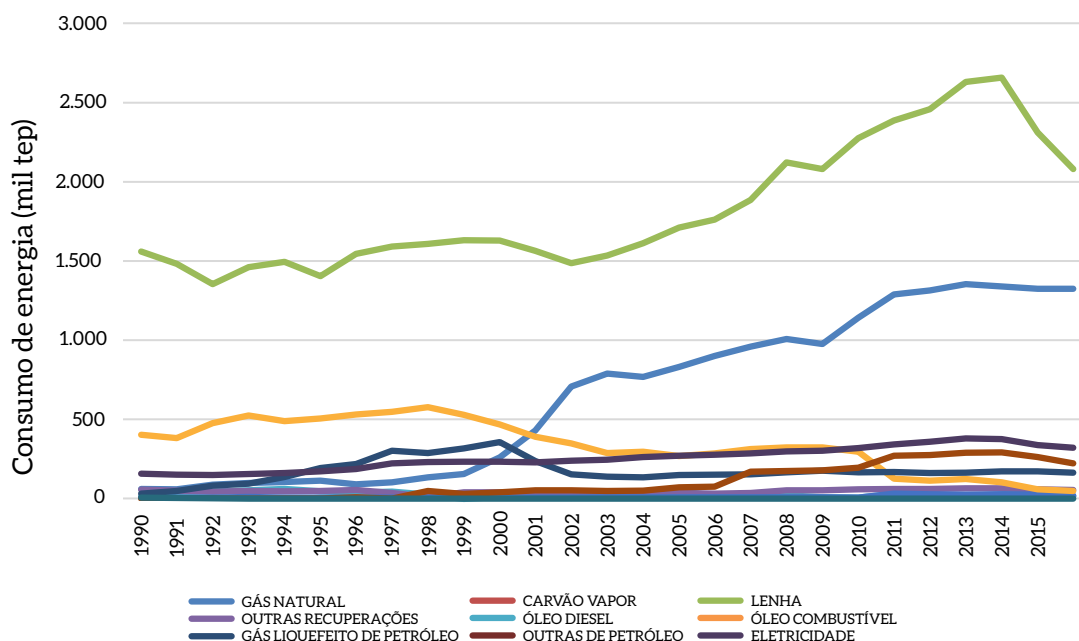


Figura 9 – Evolução do Consumo de Energéticos no Setor de Cerâmica (mil tep)

Fonte: Elaborada com base em EPE, 2016a

Importante notar que os dados do Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2012) e as suas séries históricas não capturam o consumo real de lenha no setor de cerâmica, em particular de cerâmica vermelha, tendo em vista o elevado grau de informalidade existente no setor (INT, 2012). Os dados disponíveis apresentam um consumo de lenha em 2012 de somente 2,4 milhões de tep, o que não reflete toda a biomassa empregada na cerâmica vermelha. Estimativas produzidas pelo INT (2012) indicam que o consumo de lenha total na cerâmica vermelha no Brasil atingiu, naquele ano, 6,3 milhões de tep, ou seja, valor superior a 2,6 vezes o consumo indicado no BEN. Esse fator de correção de correção no consumo de lenha será aplicado às projeções de consumo energético nos cenários REF, BC e BC+I.

O setor cerâmico, considerando a produção de cerâmica branca e vermelha, processou, em 2012, em torno de 106 milhões de toneladas de produtos (Tabela 18). Nota-se que a produção de cerâmica vermelha representa perto de 85% da produção total. Em consequência, as demandas de energia desse segmento são as de maior peso, representado, respectivamente, 75% e 70% da demanda térmica e elétrica. Isso ocorre mesmo diante de consumos específicos de energia mais elevados para a produção de cerâmica branca, cujos valores são quase o dobro para a parcela térmica e quase três vezes maior para a parte elétrica.

Tabela 18 – Produção, Demandas de Energia Térmica e Elétrica e Consumos Específicos do Setor Cerâmico em 2012

Segmentos	Produção (10 ⁶ t)	Demanda térmica (10 ³ tep)	Demanda elétrica (TWh)	Consumo específico de combustíveis (kcal/kg)	Consumo específico de eletricidade (kWh/t)	Consumo específico de eletricidade (kcal/kg)
Cerâmica branca	15,6	1.827,1	1,262	1.172	81,0	69,66
Cerâmica vermelha	91,1	5.988,1	3,053	657	33,5	28,81
Total	106,7	7.815,2	4,315	-	-	-

Fonte: Elaboração própria a partir de INT, 2012

Quanto ao consumo específico de energia térmica, a média ponderada geral do setor cerâmico (732 kcal/kg) se aproxima da média geral do segmento de cerâmica vermelha (657 kcal/kg) em função da participação mais representativa deste na produção total do setor como um todo. Por sua vez, envolvendo processos em temperaturas mais elevadas e com maiores especificidades e exigências, a cerâmica branca apresenta demanda específica média de energia térmica (de 1.172 kcal/kg) bastante superior à da cerâmica vermelha. Os valores médios de consumo específico de eletricidade são de 81 kWh/t para a cerâmica branca e de 33,5 kWh/t para cerâmica vermelha.

Conforme mencionado, os principais produtos da cerâmica branca são: pisos e revestimentos, refratários, louças sanitárias, louças de mesa, e cerâmica elétrica. Na Tabela 19, são apresentadas as respectivas produções, demandas de energia e os consumos específicos de energia dos produtos desse segmento.

Tabela 19 – Produção, Consumos Específicos de Energia e Demandas Térmica e Elétrica nos Segmentos de Cerâmica Branca em 2012

Produtos	Produção (10 ⁶ t)	Consumo específico de eletricidade (kWh/t)	Consumo específico de combustíveis (kcal/kg)	Demanda elétrica (TWh/ano)	Demanda térmica (10 ³ tep)
Pisos/revestimentos	14,6	75	766	1,095	1.118
Refratários	0,5	150 ³	10.000 ³	0,096	575
Louças sanitárias	0,3 ¹	200 ²	2.700	0,066	77
Louças de mesa	0,1	80	6.000	0,003	32
Cerâmica elétrica	0,1	50	5.000	0,002	25
Total	15,6	81	1.172	1,262	1.827

¹Considerando perda de 5% na produção relativa à massa total processada.

²Inclui parcela estimada de 30% de energia elétrica para fins térmicos.

³Inclui a demanda energética na fabricação das matérias-primas.

Fonte: Elaboração própria a partir de ANFACER, 2013

Os consumos específicos de eletricidade são mais elevados para a produção de refratários e de louça de mesa, e de combustíveis para refratários e louças sanitárias. No entanto, as demandas térmica e elétrica são superiores para a produção de pisos e revestimentos diante da produção mais elevada desses artigos. Considerando que a produção de pisos e revestimentos é preponderante, esse segmento é examinado com mais detalhes a seguir.

Os valores globais de consumo específico térmico e elétrico por etapas na produção de pisos e revestimentos estão apresentados na Tabela 20. Os valores de consumo elétrico e consumo específico total não incluem as demandas não diretamente ligadas ao processo produtivo, como iluminação, instalações de administração, setores de utilidades e outras. Este aspecto explica a diferença com relação aos dados da Tabela 19. Observa-se que, nas etapas de queima, prensagem, moagem de massa e secagem, se produzem os maiores consumos específicos de eletricidade e, nas etapas de queima e secagem, os maiores consumos específicos térmicos.

Tabela 20 – Consumos Específicos de Energia Térmica e Elétrica por Etapas de Produção de Pisos e Revestimentos

Etapa de processo	Consumo específico elétrico (kWh/t)	Consumo específico térmico (kcal/kg)	Consumo específico total (kcal/kg)
Queima	13,8	420,0	431,91
Secagem	7,8	117,5	124,17
Moagem de massa	11,8	-	10,15
Prensagem	11,8	-	10,12
Moagem de esmalte	4,3	-	3,70
Esmaltação	1,7	-	1,46
Classificação	0,5	-	0,40
Total	51,6	537,5	581,91

Fonte: Elaborada a partir de ALVES et al., 2007; 2010

A seguir, apresentam-se as principais rotas de processo (via úmida e via seca) na produção de pisos e revestimentos e seus consumos específicos.

Na rota de via úmida, as etapas que demandam calor são: atomização, secagem e queima; e as que demandam eletricidade são todas as descritas anteriormente, mas, em especial, as operações de moagem, preparo de esmalte, prensagem e queima. Em geral, o consumo térmico nesse processo nas indústrias brasileiras de pisos e revestimentos se distribui da seguinte forma: queima (49%), atomização (39%) e secagem (12%). A Tabela 21 apresenta os valores de consumo específico térmico para as principais etapas no processo de produção por via úmida.

Tabela 21 – Faixas de Consumo Específico Térmico por Etapas na Produção de Pisos e Revestimentos por Via Úmida

Valores em kcal/kg de produto queimado no final para processo via úmida		
Etapas	Intervalo	Valor médio
Atomização	294 a 500	424
Secagem	98 a 185	126
Queima	475 a 700	536
Total	868 a 1.385	1.085

Obs.: Considerando os menores e maiores índices de consumo por etapa resultaria na faixa indicada no total.

Fonte: Elaborada a partir de ALVES et al., 2007; 2010

No processo por via seca, a demanda de calor se dá nas etapas de secagem e queima, e todas as fases do processo consomem eletricidade, principalmente moagem, preparo do esmalte, prensagem e queima. Em geral, a demanda térmica se distribui da seguinte forma: queima (71%) e secagem (29%). Na Tabela 22 e na Tabela 23, respectivamente, apresentam-se os consumos específicos de energia térmica e elétrica por etapa de produção.

Tabela 22 – Consumos Específicos de Energia Térmica por Etapas de Produção de Pisos e Revestimentos por Via Seca

Valores em kcal/kg de produto final para processo via seca		
Etapas	Intervalo	Valor médio
Secagem	106 a 348	182
Queima	409 a 508	451
Total	515 a 856	634

Obs.: Em levantamentos recentes nas plantas de produção mais modernos por via seca, têm sido encontrados valores totais de consumo específico de energia térmica na faixa de 580 a 680 kcal/kg.

Fonte: Elaborada a partir de ALVES et al., 2007; 2010

Tabela 23 – Consumos Específicos de Energia Elétrica por Etapas de Produção de Pisos e Revestimentos por Via Seca

Valores em kWh/t de produto final para processo via seca		
Etapas	kWh/t	(%)
Moagem da massa	11,8	23
Prensagem	11,7	23
Secagem	7,8	15
Esmaltação	1,7	3
Queima	13,8	27
Classificação	0,5	1
Moagem do esmalte	4,3	8
Total	51,6	100

Fonte: Elaborada a partir de ALVES et al., 2007; 2010

No processo por via seca, a demanda de energia elétrica é cerca de 30% menor que nos processos por via úmida, por prescindir da atomização. A vantagem desse tipo de processo é sua significativa redução nos índices de consumo energético específico de energia térmica e elétrica. De forma geral, as indústrias que adotam esse tipo de processo competem em preço e atingem de forma eficaz as parcelas mais populares do mercado interno pelos grandes volumes de produção atingidos.

No atual estágio tecnológico das empresas do segmento de cerâmica vermelha no Brasil, considerando os sistemas de processamento e equipamentos mais empregados, a indústria do setor apresenta, em termos médios e mais usuais, as seguintes faixas de valores de consumo energético específico, relativos ao produto final:

- Energia térmica – 400 a 1.000 kcal/kg (média ponderada de 657 kcal/kg);
- Eletricidade – 10 a 50 kWh/t (média ponderada de 33,5 kWh/t).

Quanto à parcela de consumo elétrico, seus componentes mais representativos se encontram nas máquinas de preparo e dosagem da massa, na etapa de conformação, na secagem e na queima, com as parcelas restantes com participação inferior a 15%.

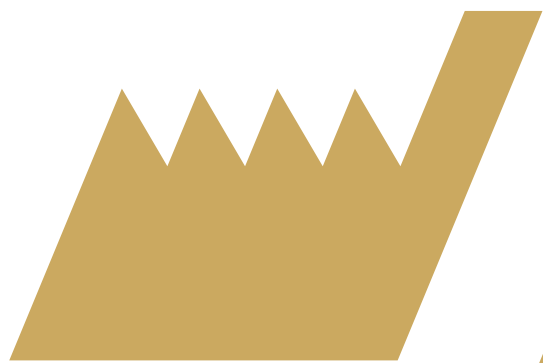
A distribuição do consumo de energia elétrica em uma empresa de cerâmica vermelha de porte médio, operando com um forno semicontínuo, tomando por base um consumo de 90.000 kWh/mês, se apresenta na Tabela 24.

Tabela 24 – Participação Estimada das Etapas do Processo na Demanda e no Consumo de Energia Elétrica numa Empresa de Cerâmica Vermelha de Porte Médio

Etapas do processo	Consumo específico (kWh/t)	Consumo percentual de eletricidade (%)	Demanda percentual de potência máxima (%)
Queima	9,7	29	15
Secagem	6,4	19	11
Moldagem	11,0	33	46
Preparação	4,4	13	20
Outros	2,9	6	8

Obs.: Considerando uma instalação de porte médio com potência total instalada em máquinas elétricas de 400 cv (maromba – 180 cv, exaustão do forno e queimadores – 60 cv, preparo de massa – 70 cv, secador – 40 cv (exaustores e acionamentos) e administração, iluminação e outros totalizando 30 cv; consideraram-se distintos fatores de carga para os motores), operando em regime de 24 h/dia para forno e secador e 8 h/dia para as demais.

Fonte: Elaborada a partir de INT, 2012



Melhores tecnologias disponíveis para a eficientização dos processos produtivos no setor cerâmico

Capítulo

2

2 MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA A EFICIENTIZAÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS NO SETOR CERÂMICO

Este capítulo objetiva discutir as melhores tecnologias disponíveis (MTD) aplicáveis ao setor de cerâmica. Trata-se de mapear MTD que promovam a eficientização de processos produtivos e que tragam efeitos de segunda ordem, como redução no consumo de energia e emissões de GEE. 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 CERÂMICA BRANCA

Considerando a possibilidade de implementação de medidas de maior eficiência energética no setor de cerâmica branca, o segmento de pisos e revestimentos é merecedor de maior atenção em função de sua representatividade na produção total. Apesar do elevado padrão tecnológico de seus equipamentos e processos, as indústrias de pisos e revestimentos ainda apresentam boas potencialidades de aplicação de projetos de recuperação de calor de fornos tanto para secagem quanto para preaquecimento de ar de combustão, assim como aprimoramento de sistemas de moagem da massa de argila, cogeração de energia e outros itens ligados ao processo, conforme detalhado a seguir.

2.1.1 OTIMIZAÇÃO DA COMBUSTÃO EM FORNOS

Na produção de cerâmicas de pisos e revestimentos, as condições de operação dos fornos são definidas pela curva de temperatura *versus* tempo e pelas curvas de pressões parciais de oxigênio no forno. Procedendo-se ao controle, por meio da otimização dos principais parâmetros da combustão – vazão e temperatura do ar, vazão de combustível, percentual de CO₂ e temperaturas e pressões internas do forno, utilizando sensores e outros –, pode-se obter redução de consumo de combustível de até 7%. Nesse caso, admitindo-se uma situação hipotética, seriam obtidos os seguintes parâmetros técnico-econômicos:

- Forno com capacidade de produção de pisos e azulejos de 900.000 m²/mês ou 15.300 t/mês;
- Consumo energético específico de 676 kcal/kg ou 11.492 kcal/m² de produto, equivalente 1,30 Nm³ de GN/m² de produto a gás natural (considerando PCI = 8.800 kcal/Nm³);
- Considerando o custo do GN de R\$ 1,30/Nm³ e o consumo mensal com GN queimado no forno de 1.170.000 Nm³/mês, tem-se custo mensal com gás natural de R\$ 1.521.000,00/mês;

- Meta de consumo energético específico do forno: 629 kcal/kg;
- O consumo específico de gás natural na nova condição: 1,21 Nm³ de GN/m² de produto;
- Ganho energético equivalente: 47 kcal/kg ou 0,09 Nm³ de GN/m² de produto;
- Custo de manutenção: 10% (reagentes, troca de cabos, troca de placas de circuitos de controle etc.).

2.1.2 RECUPERAÇÃO DE CALOR DA ZONA DE RESFRIAMENTO DE FORNOS PARA PRAQUECIMENTO DE AR DE COMBUSTÃO

A recuperação de calor da zona de resfriamento pode ser usada na secagem de peças e/ou como ar de combustão. Geralmente, o ar de combustão pode ser insuflado nas câmaras de combustão em patamares de até 160°C, trazendo economias significativas (HENRIQUES JR., 2010).

Uma economia mensal de 10% de gás natural, resultaria em 117.000 Nm³ de gás natural e despesa de R\$ 152.100 evitados.

2.1.3 TROCA DE MOTORES ELÉTRICOS POR MOTORES MAIS EFICIENTES NA MOAGEM

A substituição de motores elétricos convencionais por motores elétricos de alto rendimento promove ganhos de eficiência da ordem de 3%. São considerados os seguintes parâmetros:

- Consumo elétrico atual: 2 motores de 150 cv cada, operando com fator de carga de 80% e por 730 h/mês e gerando consumo elétrico conjunto de 175.200 kWh/mês;
- Motores futuros (mais eficientes): 2 motores de 150 cv (4 polos) cada, ao preço unitário de R\$ 20.230, representando investimento total de R\$ 40.460;
- Economia energética de 3%, ou seja, 5.256 kWh/mês, e tarifa de R\$ 0,35/kWh, dando como resultado economia mensal da ordem de R\$ 1.840/mês ou R\$ 22.075/ano.
- *Caso do setor de moagem*: Consumo de eletricidade na moagem na fábrica (situação atual) de 300 kW x 730 h/mês x 0,8 equivalente a 175.200 kWh/mês;
- Custo operacional energético do atual sistema de moagem: 175.200 kWh/mês x R\$ 0,35/kWh x 12 meses/ano equivalente a R\$ 735.840,00/ano;
- Consumo específico do processo de moagem (atual) de 12,4 kWh/t.

Utilizando os motores mais eficientes:

- Consumo específico do processo de moagem (proposto): 12,0 kWh/t;
- Consumo de energia elétrica do sistema proposto de moagem: 169.944 kWh/mês;
- Economia de eletricidade: [175.200 – 169.944] kWh/mês = 5.256 kWh/mês ou 63.072 kWh/ano, equivalente a: [63.072 kWh/ano x R\$ 0,35/kWh] = R\$ 22.075/ano.

2.1.4 COGERAÇÃO EM PLANTAS DE PISOS E REVESTIMENTOS

A cogeração é a produção simultânea e sequenciada de energia térmica e elétrica, a partir de um mesmo combustível, possibilitando maior eficiência energética do sistema como um todo, em comparação com a produção independente das duas formas de energia (caso a geração seja de base térmica) (HENRIQUES JR., 2010). Além do ganho em eficiência energética, que pode atingir 85%, dependendo da escala do empreendimento e de outras variáveis (como preço do combustível, tarifa da energia elétrica, possibilidade de venda de excedente de energia, fator de carga etc.), a cogeração de energia pode se tornar mais econômica e segura do que a energia elétrica adquirida das empresas distribuidoras, o que pode ser fundamental na escolha dessa tecnologia.

A implementação de sistemas de cogeração de energia no segmento de pisos e revestimentos na indústria de cerâmica branca pode contemplar três hipóteses de projeto: i) através de motogerador para secagem nos processos de via seca; ii) através de turbogerador, também nos processos de via seca; e iii) através de turbogerador para secagem de barbotina em plantas de produção por via úmida.

Nos dois primeiros casos, comparam-se as características técnicas e econômicas de configurações para processo de via seca, considerando um motogerador e um turbogerador no processo de secagem da argila estocada de forma úmida no pátio das empresas por necessidade ambiental. No terceiro caso, é revisada a implementação de um sistema de cogeração com emprego de turbogerador de modo a atender a demanda de calor no secador *spray dryer* de sistemas por via úmida.

Para melhor entendimento das duas primeiras configurações, apresenta-se inicialmente uma situação comum no setor que reproduz a “condição sem o emprego de cogeração”, considerando plantas de via seca para a produção de pisos e azulejos.

A) PLANTA INDUSTRIAL TÍPICA DE PRODUÇÃO DE PISOS E AZULEJOS POR VIA SECA – SEM UNIDADE DE COGERAÇÃO

- Capacidade de produção de 1.650.000 m²/mês ou 28.050 t/mês;
- Vida útil de 20 anos;
- Consumo específico de gás natural na planta industrial na situação atual de 1,0 Nm³ de GN/m² de produto;
- Consumo de gás natural da planta industrial: 1.650.000 Nm³ de GN/mês;
- Consumo de gás natural de planta de secagem de argila: 7,63 MW x 730 h/mês x 860 kcal/kWh x 1.000 kcal/Mcal]/8.800 kcal/Nm³ de GN, ou seja, 544.331 Nm³ de GN/mês;
- Custo operacional com gás natural na situação atual sem motogerador (considerando a tarifa do gás natural para esta faixa de consumo de R\$ 1,23/Nm³ – Comgás em novembro de 2012, incluindo ICMS: R\$ 2.029.500/mês;
- Consumo específico de eletricidade atual (sem motogerador): 75 kWh/t;
- Consumo total de eletricidade na planta industrial (situação atual): 28.050 t/mês x 75 kWh/t = 2.103.750 kWh/mês;
- Potência elétrica média demandada: 2.103.750 kWh/mês/730 h/mês = 2.882 kW;

- Custo da eletricidade comprada: R\$ 0,30/kWh ou R\$ 631.725/mês (situação atual);
- Custo total com energia (eletricidade e gás natural) na situação atual: R\$ $[2.029.500 + 631.725] =$ R\$ 2.661.225/mês.

B) COGERAÇÃO COM MOTOGERADOR PARA SECAGEM DE ARGILA EM PLANTA DE PRODUÇÃO DE PISOS E AZULEJOS POR VIA SECA

- Consumo específico de gás natural na planta industrial na situação proposta: 1,37 Nm³ de GN/m² de produto;
- Consumo de gás natural da planta industrial na situação proposta: 2.260.500 Nm³ de GN/mês;
- Custo equivalente com gás natural na situação proposta de R\$ 1,23/Nm³ x 2.260.500 Nm³/mês: R\$ 2.780.414/mês;
- Aumento do consumo de gás natural: $[2.260.500 - 1.650.000]$ Nm³/mês, equivalente a 610.500 Nm³/mês e aumento do custo com gás natural de R\$ 1,23/Nm³ x 610.500 Nm³: R\$ 750.915/mês;
- Potência média de geração de eletricidade com motogeradores operando com fator de carga médio de 60%: 3 x 2.000 kW x 0,6, ou seja, equivalente a 3.600 kW;
- A eletricidade gerada pelos motogeradores de 3.600 kW x 730 h/mês, equivalente a 2.628.000 kWh/mês;
- Eletricidade excedente gerada pelo sistema de cogeração com motogeradores: $[2.628.000 - 2.103.750]$ kWh/mês, equivalente a 524.250 kWh/mês;
- Tarifa de venda da eletricidade gerada de R\$ 0,679/kWh;
- Faturamento mensal com a eletricidade excedente gerada: R\$ 355.966/mês;
- Supressão do custo com eletricidade seria de R\$ 631.725/mês.

Resultado:

- A economia líquida anual (custo evitado com gás suprimido para secagem + custo suprimido com eletricidade + faturamento mensal com a eletricidade excedente) – aumento do custo com gás natural = R\$ $[707.630 + 631.725 + 355.966] -$ R\$ 750.915/mês x 12 meses/ano = R\$ 11.332.872/ano;
- O custo total com energia (gás natural) na situação proposta seria de R\$ 2.780.414/mês.

Economia de energia:

- Energia antes – energia depois, equivalente a $[1.650.000 \text{ Nm}^3 \text{ de GN/mês (processo)} + 544.331 \text{ Nm}^3 \text{ de GN/mês (secagem de argila)} + 2.103.750 \text{ kWh/mês}] - [2.260.000 \text{ Nm}^3 \text{ de GN/mês} - 544.331 \text{ Nm}^3 \text{ de GN/mês} - 524.250 \text{ kWh/mês}] = [60.795 + 20.056 + 7.575] \text{ GJ/mês} - [83.271 - 20.056 - 1.888] \text{ GJ/mês} = [88.376 - 61.327] \text{ GJ/mês} = 27.049 \text{ GJ/mês};$
- Percentual de economia de energia: 30,6%;
- Investimento estimado de R\$ 8.930.000 em três motogeradores (3x2 MW_e), com dimensionamento pela capacidade de fornecimento de calor de 5.140 kW, a partir dos gases de exaustão (diluídos com ar ambiente a 250°C) para o processo de secagem da argila.

C) COGERAÇÃO COM TURBOGERADOR PARA SECAGEM DE ARGILA EM PLANTAS DE PRODUÇÃO DE PISOS E AZULEJOS POR VIA SECA

Considerando a mesma planta hipotética para o caso (a) e, portanto, com as mesmas características já descritas:

- Custo total com energia (eletricidade e gás natural) na situação atual será de: R\$ [2.029.500 + 631.725] = R\$ 2.661.225/mês ou R\$ 31.934.700/ano;
- Consumo total de energia (eletricidade e gás natural) na situação atual de 2.103.750 kWh/mês + 1.650.000 Nm³ de GN/mês + 544.331 Nm³/mês = 7.575 GJ + 60.795 GJ + 20.056 GJ/mês equivalente a 68.370 GJ/mês.

Utilizando a cogeração com turbogerador, as novas características da planta seriam:

- Consumo específico de gás natural: 1,28 Nm³/m² de produto;
- Consumo de gás natural da planta industrial: 2.112.000 Nm³/mês;
- Custo mensal com gás natural na situação proposta: R\$ 2.597.760/mês;
- Aumento do consumo de gás natural: [2.112.000 – 1.650.000] Nm³/mês, equivalente a 462.000 Nm³/mês;
- Aumento do custo com gás natural: R\$ 1,23/Nm³ x 462.000 Nm³/mês, equivalente a R\$ 568.260/mês;
- Potência média de geração de eletricidade com os turbogeradores, operando com fator de carga médio de 60%: 3.500 kW x 0,6 equivalente a 2.100 kW;
- Eletricidade gerada pelos turbogeradores: 2.100 kW x 730 h/mês, equivalente a 1.533.000 kWh/mês. A eletricidade suplementar adquirida da rede distribuidora: [2.103.750 – 1.533.000] kWh/mês, equivalente a 570.750 kWh/mês;
- Custo com aquisição de eletricidade na situação proposta: 570.750 kWh/mês x R\$ 0,30/kWh, equivalente a R\$ 171.225/mês ou R\$ 2.054.700/ano;
- Custo com a aquisição de gás natural: R\$ 2.597.760/mês – R\$ 707.630, equivalente a R\$ 1.890.130/mês ou R\$ 22.681.560/ano;
- Custo total com energia na situação proposta: R\$ 22.681.560/ano – R\$ 2.054.700/ano, equivalente a R\$ 20.626.860/ano.

Resultado:

- Economia líquida anual de R\$ [31.934.700 – 20.626.860]/ano, equivalente a R\$ 11.307.840/ano.

Custo total com energia (gás natural) na situação proposta:

- R\$ 2.780.414/mês.

Economia de energia:

- Energia antes - energia depois = [1.650.000 Nm³ de GN/mês (processo) + 544.331 Nm³ de GN/mês (secagem de argila) + 2.103.750 kWh/mês] – [2.112.000 Nm³ de GN/mês – 544.331 Nm³ de GN/mês + 570.750 kWh/mês] = [60.795 + 20.056 + 7.575] GJ/mês – [77.818 – 20.056 + 2.055] GJ/mês = [88.426 – 59.817] GJ/mês = 28.609 GJ/mês.
- Percentual de economia de energia [28.609/68.370] x 100 seria de 41,8%.

O investimento em turbogerador de 3,5 MW_e com dimensionamento pela capacidade de fornecimento de calor de 5.140 kW a partir dos gases de exaustão (diluídos com ar ambiente a 250°C) para o processo de secagem da argila seria de R\$ 8.216.000.

D) COGERAÇÃO COM TURBO GERADOR PARA SECAGEM DE BARBOTINA EM PLANTAS DE PRODUÇÃO DE PISOS E AZULEJOS POR VIA ÚMIDA

Considerando o caso hipotético de uma planta, utilizando processo de via úmida, com as seguintes características, ou seja, antes de utilizar cogeração com turbogerador:

- Capacidade de produção da planta: 900.000 m²/mês ou 15.300 t/mês;
- Consumo específico de gás natural na planta industrial na situação atual, sem turbogerador: 1,90 Nm³ de GN/m² de produto;
- Consumo de gás natural da planta industrial seria: 1.710.000 Nm³ de GN/mês;
- Tarifa do gás natural para essa faixa de consumo: R\$ 1,30/Nm³ (Comgás, nov. 2012), incluindo ICMS;
- Custo operacional com gás natural na situação atual: R\$ 2.223.300/mês ou R\$ 26.676.000/ano;
- Consumo específico de eletricidade na planta industrial na situação atual: 75 kWh/t;
- Consumo total de eletricidade na planta industrial na situação atual: 15.300 t/mês x 75 kWh/t = 1.147.500 kWh/mês;
- Demanda elétrica do sistema de produção de 2.500 kW (potência destinada à planta de produção) x 0,63 (fator de carga de operação do sistema), equivalente a 1.575 kW;
- Potência elétrica média demandada pela planta de produção: [1.147.500 kWh/mês]/[730 h/mês], equivalente a 1.572 kW;
- Tarifa da eletricidade comprada: R\$ 0,30/kWh;
- Custo operacional com eletricidade na situação atual: R\$ 344.250/mês ou R\$ 4.131.000/ano;
- Custo total com energia (eletricidade e gás natural) na situação atual seria de R\$ [2.223.000 + 344.250] = R\$ 2.567.250/mês ou R\$ 30.807.000/ano;
- Consumo total de energia (eletricidade e gás natural): 1.147.500 kWh/mês + 1.710.000 Nm³ de GN/mês = 4.132 GJ/mês + 63.006 GJ/mês = 67.138 GJ/mês.

Aplicando-se a cogeração com turbogerador, as características da nova planta seriam:

- Consumo de gás natural na turbina de [14.500 kW_t x 860 kcal/kWh]/8.800 kcal/Nm³ de GN, equivalente a 1.417 Nm³/h;
- Consumo de gás natural no pós-combustor de 208 Nm³ de GN/h (dado de projeto);
- Consumo de gás natural da planta industrial na situação proposta: consumo de GN na turbina + consumo de GN no pós-combustor = [1.417 + 208] Nm³ de GN/h, equivalente a 1.625 Nm³/h ou (x 730 h/mês) 1.186.283 Nm³/mês;
- Consumo específico de gás natural na planta industrial na situação proposta (com cogeração): [1.186.283 Nm³/mês]/900.000 m²/mês, equivalente a 1,32 Nm³ de GN/m² de produto;

- Custo mensal com gás natural na situação proposta (R\$ 1,30/Nm³): R\$ 1.542.168/mês ou R\$ 18.506.014/ano;
- Redução do consumo de gás natural: [1.710.000 – 1.186.283] Nm³/mês equivalente a 523.717 Nm³/mês;
- Redução do custo com gás natural: R\$ 1,30/Nm³ x 523.717 Nm³/mês = R\$ 680.832/mês;
- Potência média de geração de eletricidade com os turbogeradores, operando com fator de carga médio de 60%: 4.072 kW x 0,77, equivalente a 3.135 kW;
- Eletricidade gerada pelos turbogeradores: 3.135 kW x 730 h/mês, equivalente a 2.288.871 kWh/mês;
- Eletricidade excedente comercializada na rede de distribuição: eletricidade gerada – eletricidade demandada pela planta de produção – eletricidade demandada pelos equipamentos auxiliares da planta de geração (124 kW x 0,7 x 730 h/mês = 63.364) = [2.288.550 – 1.147.500 – 63.364] kWh/mês = 1.077.686 kWh/mês, equivalente a uma potência média de 1.476 kW;
- Consumo total de energia (eletricidade e gás natural) na situação proposta: consumo de gás natural – excedente de eletricidade = 1.186.283 Nm³/mês – 1.077.686 kWh/mês = 43.709 GJ/mês – 3.881 GJ/mês, equivalente a 39.828 GJ/mês;
- Faturamento com a eletricidade excedente seria de 1.077.686 kWh/mês x R\$ 0,679/kWh equivalente a R\$ 741.749/mês ou R\$ 8.780.986/ano;
- Custo total com energia na situação proposta: custo com gás natural – faturamento com eletricidade excedente = R\$ 18.506.014/ano – R\$ 8.780.986/ano, equivalente a R\$ 9.725.028/ano.

Como resultado do uso da cogeração com turbogerador no processo de via úmida, obtém-se:

- Economia líquida anual: custo com energia na situação anterior – custo com energia na situação proposta = R\$ 30.807.000/ano – R\$ 9.725.028/ano, equivalente a R\$ 21.081.972/ano;
- Economia de energia: [Energia antes – Energia depois] = [67.138 – 39.828 GJ/mês], equivalente a 27.310 GJ/mês;
- Percentual de economia de energia equivalente a 40,7%.

Nesse caso, o investimento em turbogerador para o processo de secagem em atomizador tipo *spray dryer* de barbotina em processo via úmida seria de R\$ 14 milhões.

2.2 CERÂMICA VERMELHA

Para a cerâmica vermelha, as melhores tecnologias estão relacionadas com o processamento térmico e, portanto, com os fornos.

O processamento térmico numa indústria de cerâmica vermelha é responsável por cerca de 90% a 95% da energia total demandada, dependendo do tipo da unidade fabril (com ou sem secador), eficiência dos fornos e tratamento da argila (com ou sem moagem).

Atualmente, a distribuição estimada por tipos de fornos empregados na indústria de cerâmica vermelha no Brasil é a seguinte: intermitentes (68%), semicontínuos (28%) e contínuos (4%) (INT, 2012). Considerando as diferentes escalas de produção por tipo de forno, a participação deles na produção física se modifica da seguinte forma: intermitentes (40%), semicontínuos (50%) e contínuos (10%) (INT, 2012).

Fornos intermitentes operam para cumprir a queima de uma batelada de produtos, seguindo ciclos de aquecimento e de carregamento descontinuamente. No Brasil, existem fornos denominados caieira e caipira, com tecnologia antiga, eficiência térmica baixa, elevado nível de perdas e que ainda produzem produtos de baixa qualidade.

A aplicação de fornos semicontínuos do tipo Hoffman e câmara Cedan, e fornos contínuos do tipo túnel, seriam opções interessantes para eficientização da produção de cerâmica vermelha.

A estrutura dos fornos Hoffmann é toda de alvenaria com paredes grossas para resistir a choques térmicos pelas constantes operações de aquecimento e resfriamento, que impõem dilatações e contrações de sua estrutura. Seu comprimento pode variar de 60 a 120 metros, com larguras da ordem de 3,5 metros e altura de 2,8 metros. O número de câmaras, em geral, é entre 15 e 20, com capacidades na faixa de 10 milheiros cada, com ritmo médio de 4 câmaras por dia (40 milheiros/dia ou 1.200 milheiros/mês). Nesse ritmo, um forno Hoffmann permite rodar de 4 a 6 vezes por mês o seu conjunto de câmaras. Trata-se de forno de bom desempenho térmico por aproveitar o calor da exaustão e do resfriamento das câmaras, mas apresenta custo elevado de instalação, demandando considerável área de fábrica; pode operar com combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos; mais adequado para a produção de tijolos; eficiência térmica de 40 a 55%. Um forno Hoffmann costuma consumir cerca de 50% a 70% menos que um forno intermitente convencional. Um forno Hoffmann com capacidade de 1.200 milheiros/mês de bloco 9x14x19, ou cerca de 2.160 t/mês, pode custar em torno de R\$ 800 mil.

A câmara tipo Cedan é constituída por multicâmaras interligadas, com aproveitamento interno de calor entre elas, proporcionando operação semicontínua. O arranjo mais comum para os fornos consiste em um conjunto de 6 ou 8 câmaras de cada lado do forno, interligadas lateralmente por passagens abaixo do piso (crivo) e por outras entre cada câmara de combustão e a câmara de produtos. A capacidade dessas câmaras de produtos pode variar entre 25.000 a 40.000 peças, de acordo com as dimensões internas e conforme o tipo de produto enforado. Esses fornos permitem baixo consumo de energia devido à recuperação de calor entre as câmaras internas. O consumo específico de energia situa-se entre 0,6 a 0,7 estéreos por milheiro, que resulta em aproximadamente 1,9 MJ/kg ou 460 kcal/kg. O custo de investimento num forno Cedan com capacidade de produção com 12 câmaras (900 milheiros/mês) é da ordem de R\$ 400 a 500 mil, considerando o emprego de mão de obra da própria empresa e que boa parte de alvenaria, composta de tijolos maciços, pode ser produzida na própria fábrica.

O forno contínuo do tipo túnel é um forno cerâmico constituído de um corpo fixo único, com comprimento variável de 50 a 120 metros, e duas paredes laterais (altura de 2 a 3 metros) e um teto reto ou na forma de abóbada interna. Em sua parte interna, o túnel é percorrido por vagonetas de produtos a serem sinterizados. O forno pode ser dividido em três zonas: preaquecimento, queima e resfriamento. O produto cru entra pela extremidade da zona de preaquecimento e deixa o forno na saída oposta, na zona de resfriamento. A temperatura do produto passa de 300°C para 700°C/900°C, conforme o tipo de argila processada. Esse tipo de forno tem consumo específico mais baixo que os outros, perde menos calor na sua estrutura, propicia maiores escalas de produção e melhor desempenho térmico dentre todos, mas demanda elevado investimento em sua construção e nos equipamentos de controle, assim como mão de obra especializada em sua operação. A eficiência térmica se situa entre 60% e 70%. O consumo específico de lenha pode se situar entre 0,5 a 0,6 st/milheiro, que resulta em 250 a 305 kcal/kg (1,1 a 1,3 GJ/t). Um forno túnel de 2.000 t/mês de capacidade pode custar por volta de R\$ 1.200 mil.

Em termos gerais, são apresentados na Tabela 25 os valores médios de consumos específicos de energia térmica por tipos de fornos, de acordo com a classificação anterior.

Tabela 25 – Consumo Específico de Energia Térmica por Tipo de Forno

Tipo de Forno	Consumo específico de energia térmica (kcal/kg)
Intermitentes	850
Semicontínuos	550
Contínuos	400

Fonte: Elaborado a partir INT, 2012

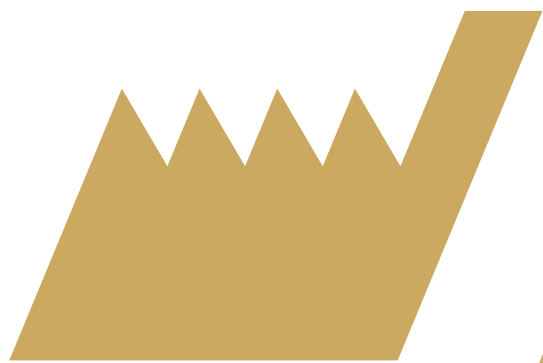
No setor de cerâmica, medidas aos fornos instalados também podem ser aplicadas visando o aumento de produtividade, redução nas perdas e eficientização energética. Dentre as medidas, contemplam-se:

- Melhoria da combustão – o controle da combustão nos fornos e fornalhas através do sopro de ar de combustão por meio de ventiladores permite redução do tempo de queima e do consumo do combustível da ordem de 15%. O uso da lenha picada como combustível torna mais fácil sua queima e menor demanda de ar de combustão. A perda da umidade é mais rápida e fácil. Outra vantagem é o controle da combustão e da temperatura no interior do forno. O emprego de lenha picada permite economias de combustível de até 20%;
- Recuperação de calor – de forma geral, os fornos têm perdas de calor da ordem de 30% a 60% através dos gases de exaustão, assim como na etapa de resfriamento. Essas perdas podem ser recuperadas para uso em estufas ou secadores ou para o preaquecimento de carga a ser queimada, permitindo economias entre 15% a 30%;
- Emprego de resíduos na massa cerâmica – na produção de cerâmica vermelha, há possibilidade de aproveitar diversos resíduos agrícolas e industriais, sendo eles: coque de petróleo, finos de carvão, turfa, borra de óleo, entre outros. Esses materiais podem ser misturados com a massa cerâmica em proporções entre 1% e 5% em peso, dependendo do tipo de resíduo (não aplicável na produção de telhas). A economia de combustível com essa medida pode variar entre 10% e 15% e a qualidade do produto pode melhorar acentuadamente;
- Uso de motores de alto rendimento – os motores de alto rendimento, em geral, são indicados para usos mais intensivos e são similares aos *standards*. A diferença é que consomem menos energia elétrica, por isto são mais econômicos. Embora seu preço no mercado seja superior ao de motor *standard*, a diferença é compensada no curto prazo, desde que seja usado de forma intensa.

As economias são variáveis de acordo com a potência, como se pode observar na Tabela 26, que apresenta o percentual de economia de energia elétrica em relação ao modelo *standard*.

Tabela 26 – Potência dos Motores de Alto Rendimento e Economia de Energia

Potência do motor	1 cv	10 cv	15 cv	30 cv	50 cv
Economia de energia em relação a motores padrão	8,5%	6,7%	5,3%	4,1%	2,7%



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 cerâmica. 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 e 2015 (MCTI, 2015; EPE, 2016a). Considera-se 2010 como 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, 2016a).

A técnica de cenários empregada neste estudo não objetiva a realização de previsões para o setor cerâmico. Trata-se 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 de energia, produção e número de plantas existentes, aspectos que foram sintetizados no primeiro capítulo deste documento. Em seguida, foram determinados critérios e premissas que auxiliaram na projeção do cenário em questão, a qual se tratou de abordagem *bottom-up*, ou, como o próprio nome já diz, de baixo para cima. De acordo com o então Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTIC, 2016), 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).

Para os cenários REF, BC e BC+I, serão descritas as premissas assumidas para sua construção e, em seguida, apresentados os resultados com foco em 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 da referência do setor de cerâmica 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 capacidades de produção. Em seguida, foram determinados critérios, restrições e premissas a serem aplicados na modelagem integrada do projeto.

Fez-se necessário detalhar a penetração das tecnologias empregadas nos processos produtivos do segmento de cerâmica vermelha. Particularmente, foram discriminadas as penetrações dos fornos conforme Tabela 27 (INT, 2012):

- Fornos A – incluem fornos mais eficientes, tais como Hoffmann, Cedan, túnel e móvel. O consumo energético médio desse grupo é de 424,5 kcal/kg;
- Fornos B – incluem fornos com eficiência intermediária, tais como paulistinha, abóboda e outros. O consumo energético médio desse grupo é de 818,3 kcal/kg;
- Fornos C – incluem equipamentos com menores eficiências, tais como caieira e caipira. O consumo energético médio desses fornos é de 1.075 kcal/kg.

Tabela 27 – Distribuição Percentual dos Fornos no Setor de Cerâmica Vermelha

Participação	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A	33%	33%	33%	33%	35%	35%	37%	37%	37%
B	60%	60%	60%	60%	59%	59%	59%	59%	59%
C	7%	7%	7%	7%	6%	6%	4%	4%	4%

Fonte: Elaborada a partir de INT, 2012

Os custos de investimento para cada forno são apresentados na Tabela 28. Os custos fixos e variáveis de operação e manutenção foram considerados como sendo 2% e 0,5% do custo de investimento, respectivamente.

Tabela 28 – Custo de Investimentos dos Fornos

Custo de investimento (US\$/Gcal)	
Fornos A	34,70
Fornos B	14
Fornos C	8,07

Fonte: Elaborada a partir de INT, 2012

Para a projeção do consumo de energia no segmento de cerâmica branca, foi considerado que a proporção entre as vias seca e úmida para o ano-base é de 70% e 30%, respectivamente, variando ao longo do período de projeção, conforme a Tabela 29.

Tabela 29 – Proporção entre as Vias Seca e Úmida

Proporção por rota	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Via seca	70%	70%	70%	72%	72%	72%	72%	75%	75%
Via úmida	30%	30%	30%	28%	28%	28%	28%	25%	25%

Fonte: Elaboração própria

O consumo específico da via seca e da via úmida foi considerado como 600 kcal/kg e 1.000 kcal/kg (INT, 2012), respectivamente. A partir desses valores e dos consumos de cada combustível obtido do BEN (EPE, 2016a), calculou-se a participação de cada combustível nessas rotas (vias seca e úmida) (Tabela 30 e Tabela 31).

Tabela 30 – Participação dos Combustíveis na Via Seca

Combustíveis na rota por via seca	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	90%	90%	90%	90%	92%	92%	95%	95%	95%
Óleo combustível	4%	4%	4%	4%	3%	3%	1%	1%	1%
Coque de petróleo	3%	3%	3%	3%	3%	3%	2%	2%	2%
GLP	3%	3%	3%	3%	3%	3%	2%	2%	2%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 31 – Participação dos Combustível na Via Úmida

Combustíveis na rota por via úmida	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	25%	25%	25%	25%	35%	35%	40%	40%	40%
Óleo combustível	35%	35%	35%	35%	32%	32%	29%	29%	29%
Coque de petróleo	22%	22%	22%	22%	18%	18%	17%	17%	17%
GLP	18%	18%	18%	18%	15%	15%	14%	14%	14%

Fonte: Elaboração própria

Para projetar a demanda de energia, inicialmente foram consideradas projeções de PIB para o período de 2010 a 2050, convertidas em médias quinquenais (HADDAD, 2015).

Tabela 32 – Taxas Médias de Crescimento Aplicadas na Projeção de Demanda Energética do Setor

Período	Crescimento Médio Anual
2010-2015	0,29%
2016-2020	1,39%
2021-2025	1,96%
2026-2030	1,93%
2031-2035	1,86%
2036-2040	1,75%
2041-2045	1,62%
2046-2050	1,48%

Fonte: Elaborado a partir de HADDAD, 2015

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

Utilizando-se as taxas de crescimento resumidas na Tabela 32 e os dados relativos a consumo específico de energia (Figura 9 e Tabelas 18 a 24), é possível projetar o consumo de energia do setor até 2050. A ocorrência de um *breakthrough* tecnológico foi desconsiderada, motivo pelo qual a participação dos combustíveis na matriz de consumo final de energia permanece constante. Finalmente, foi aplicado o fator de correção de 2,3 vezes no consumo de lenha do segmento de cerâmica vermelha.

A projeção das emissões de CO₂ no cenário REF se baseou na evolução da demanda energética para o mesmo cenário. Foram considerados os fatores de emissão *default* do IPCC constantes da Tabela 33, que também foram utilizados na Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MCTIC, 2016). Mais que isso, foram consideradas as emissões de processo do setor. Foram desconsideradas emissões da lenha proveniente de florestas comerciais e florestas nativas. No primeiro caso, o fator de emissão é nulo, e, no caso da origem de florestas nativas, as emissões foram desconsideradas para evitar dupla contagem com o setor de Afolu.

Tabela 33 – Fatores de Emissão de CO₂

Fontes	Fatores de emissão (tCO ₂ /TJ)
Gás natural	56,1
Óleo diesel	74,1
Óleo combustível	77,4
GLP	63,1
Coque de petróleo	97,5

Fonte: Elaborado a partir de IPCC, 2006; EPE; 2016a; MCTIC, 2016

Para a eletricidade proveniente do Sistema Interligado Nacional (SIN), foram utilizados os fatores de emissão informados pelo MCTI (2015) (Tabela 34). Para o período de 2017 a 2050, por sua vez, os valores são oriundos da modelagem integrada dos cenários de emissões do projeto. Esses fatores de emissão serão apresentados em valores médios por períodos, entre 2017 e 2050 (MCTIC, 2017).

Tabela 34 – 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, 2017

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, 2017).

3.1.2 RESULTADOS

A partir das premissas anteriormente citadas, foi projetada a produção de cerâmica vermelha, conforme mostra a Tabela 35.

Tabela 35 – Produção de Cerâmica Vermelha

Anos	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Produção (milhões de toneladas)	89,26	90,54	97,00	106,91	117,65	129,02	140,73	152,50	164,16

Fonte: Elaboração própria

A partir dos consumos específicos de cada forno e seus respectivos percentuais de participação (Tabela 27), bem como taxas de crescimento do PIB (Tabela 32), projetou-se o consumo de energia por forno (Tabela 36), assumindo que a lenha seria o único combustível utilizado, e eletricidade nos demais equipamentos.

Tabela 36 – Consumo de Energia por Forno de Cerâmica Vermelha

Tipos de fornos/ Fontes	Consumo de energia (milhões de tep)								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Fornos A	1,26	1,27	1,36	1,50	1,75	1,92	2,22	2,40	2,59
Fornos B	4,40	4,47	4,79	5,27	5,70	6,25	6,82	7,39	7,95
Fornos C	0,67	0,68	0,73	0,80	0,76	0,83	0,61	0,66	0,71
Eletricidade	0,26	0,26	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47
Total	6,58	6,68	7,16	7,89	8,55	9,38	10,05	10,89	11,72

Fonte: Elaboração própria

As emissões provenientes da lenha foram alinhadas com a metodologia de emissões constante da Terceira Comunicação Nacional, ou seja, se proveniente de florestas plantadas, a emissão é nula; se proveniente de parcela não renovável, é contabilizada no setor de Afolu. Portanto, para o segmento de cerâmica vermelha, as emissões contabilizadas são apenas provenientes do consumo de eletricidade, segundo fatores de emissão do *grid* brasileiro (Tabela 33).

Tabela 37 – Emissões de CO₂ do Segmento de Cerâmica Vermelha

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões (MtCO ₂)	0,37	0,38	0,41	0,45	0,49	0,54	0,59	0,64	0,69

Fonte: Elaboração própria

Em seguida, foi projetada a produção da cerâmica branca. Esse segmento emprega duas rotas de produção, por via seca e por via úmida, sendo a segunda mais intensa em energia por ter que extrair toda a água adicionada ao processo durante a fabricação dos produtos principais considerados, ou seja, pisos e revestimentos.

Tabela 38 – Produção de Cerâmica Branca

Anos	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Produção (milhões de toneladas)	12,67	12,85	13,77	15,17	16,70	18,31	19,98	21,65	23,30

Fonte: Elaboração própria

A partir da produção, consumos específicos de energia, participação dos combustíveis nas rotas por via seca e via úmida e taxas de crescimento do PIB, foram projetados os consumos energéticos constantes nas Tabelas 39 e 40.

Tabela 39 – Consumo Energético em Plantas que Empregam a Rota por Via Seca

Fontes de energia	Consumo de energia (milhões de tep)								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	0,48	0,49	0,52	0,59	0,66	0,73	0,82	0,93	1,00
Óleo combustível	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Coque de petróleo	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
GLP	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02

Fonte: Elaboração própria

Tabela 40 – Consumo Energético em Plantas que Empregam a Rota por Via Úmida

Fontes de energia	Consumo de energia (milhões de tep)								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	0,10	0,10	0,10	0,11	0,16	0,18	0,22	0,22	0,23
Óleo combustível	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17
Coque de petróleo	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,09	0,10	0,09	0,10
GLP	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08

Fonte: Elaboração própria

As emissões totais do segmento de cerâmica branca são apresentadas na Tabela 41.

Tabela 41 – Emissões de CO₂ no Segmento de Cerâmica Branca

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões (MtCO ₂)	2,60	2,63	2,82	3,06	3,32	3,64	3,91	4,14	4,46

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 42 apresenta o consumo de energia consolidado no setor de cerâmica. A demanda de energia do setor apresenta crescimento de 78% no período de 2010 a 2050, permanecendo a lenha como principal insumo energético, e o gás natural assumindo espaço do óleo combustível como segunda fonte mais relevante.

Tabela 42 – Consumo de Energia no Setor de Cerâmica

Segmento	Consumo de energia (milhões de tep)								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cerâmica vermelha	6,58	6,68	7,16	7,89	8,55	9,38	10,05	10,89	11,72
Cerâmica branca	1,00	1,01	1,08	1,18	1,30	1,43	1,56	1,66	1,79
Total	7,58	7,69	8,24	9,07	9,86	10,81	11,61	12,55	13,51

Fonte: Elaboração própria

Para fins de comparação, a Figura 10 apresenta a projeção do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016a). Observa-se significativo crescimento no volume de energia consumido pelo setor, que passaria de 5 milhões de tep em 2013 para aproximadamente 17 milhões de tep em 2050.

A diferença com relação à projeção do cenário REF deriva do diferencial entre as taxas de crescimento médio anual do PIB projetada em EPE (2016b) e Haddad (2015), respectivamente de 3,3% e 1,7% ao ano até 2050. Cumpre enfatizar que mesmo adotando o fator de correção sobre o consumo da lenha, a projeção do cenário REF é 21% inferior à demanda calculada no PNE 2050.

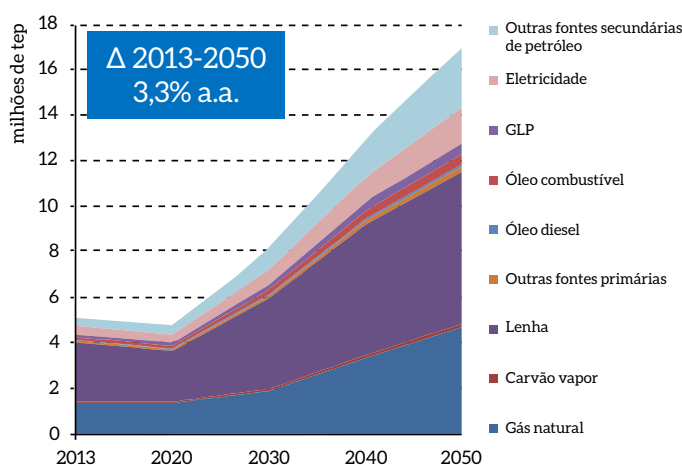


Figura 10 – Demanda de Energia do Setor de Mineração e Pelotização (2013-2050)

Fonte: EPE, 2016b

A partir do consumo, foram aplicados os fatores de emissão constantes nas Tabelas 33 e 34 para projetar as emissões de GEE das atividades do setor cerâmico até 2050 (Tabela 43). Observa-se um incremento nas emissões de 73% no período.

Tabela 43 – Emissões Totais do Setor de Cerâmica

Emissões (MtCO ₂)	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cerâmica vermelha	0,37	0,38	0,41	0,45	0,49	0,54	0,59	0,64	0,69
Cerâmica branca	2,60	2,63	2,82	3,06	3,32	3,64	3,91	4,14	4,46
Total	2,97	3,01	3,23	3,51	3,81	4,18	4,50	4,78	5,15

Fonte: Elaboração própria

3.2 CENÁRIO BC

3.2.1 PREMISSAS

O cenário BC foi construído a partir da penetração das algumas MTD descritas no capítulo 2. Para a seleção das MTD foram considerados dois critérios: i) tecnologias que apresentem nível de prontidão tecnológica (TRL) igual ou superior a 7 (EIPPCB, 2013); ii) tecnologias que tenham maior potencial de redução de emissões de GEE.

Foram propostas medidas exclusivamente para o segmento de cerâmica branca. Dois motivos justificam a opção de desconsiderar a introdução de MTD no segmento de cerâmica vermelha: i) baixo valor agregado dos produtos; ii) preponderância de consumo de lenha proveniente de florestas plantadas, que possui emissões nulas (INT, 2012).

Em função desses pressupostos, será considerada, no cenário BC, a introdução das seguintes atividades de baixo carbono no segmento de cerâmica branca:

- Recuperação de calor na zona de resfriamento de fornos para preaquecimento do ar de combustão;
- Eficientização por meio da troca de motores elétricos na moagem;
- Eficientização de fornos, por meio da otimização da combustão, nas rotas por via úmida e via seca.

Todas tecnologias listadas foram comprovadas e implantadas na indústria, com TRL igual a 9. Por este motivo, considera-se a penetração das MTD a partir de 2020.

Para o cenário BC, foi considerado que a proporção da rota por via seca aumentará ainda mais até 2050, já que representa processo mais eficiente que a via úmida (Tabela 44).

Tabela 44 – Proporção entre as Vias Seca e Úmida

Proporção por rota	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Via seca	70%	70%	72%	72%	72%	75%	75%	80%	80%
Via úmida	30%	30%	28%	28%	28%	25%	25%	20%	20%

Fonte: Elaboração própria

Foram utilizados os mesmos consumos específicos das vias seca e úmida para ambos os cenários. No entanto, considerou-se nova projeção das participações de cada combustível nos fornos, como apresenta a Tabela 45 e a Tabela 46, tendo em vista a introdução das MTD.

Tabela 45 – Participação dos Combustíveis na Via Seca

Combustíveis na rota por via seca	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	90%	90%	92%	92%	94%	94%	98%	98%	98%
Óleo combustível	4%	4%	3%	3%	2%	2%	-	-	-
Coque de petróleo	3%	3%	2%	2%	1%	1%	-	-	-
GLP	3%	3%	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 46 – Participação dos Combustíveis na Via Úmida

Combustíveis na rota por via úmida	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	25%	25%	30%	45%	55%	60%	70%	70%	70%
Óleo combustível	34%	34%	31%	25%	17%	10%	-	-	-
Coque de petróleo	22%	22%	19%	10%	8%	5%	-	-	-
GLP	18%	18%	20%	20%	20%	25%	30%	30%	30%

Fonte: Elaboração própria

Por fim, adotou-se o mesmo procedimento adotado no cenário REF para projetar a demanda de energia e emissões de GEE.

3.2.2 RESULTADOS

Utilizando-se as taxas de crescimento da Tabela 32, e as premissas mencionadas na seção 3.2.1, foi possível projetar o consumo de energia do segmento de cerâmica branca nas rotas por via seca e via úmida.

Tabela 47 – Consumo Energético em Plantas que Empregam a Rota por Via Seca

Fontes de energia	Consumo de energia (milhões de tep)								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	0,48	0,49	0,55	0,60	0,68	0,77	0,88	1,02	1,10
Óleo combustível	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	-	-
Coque de petróleo	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	-	-	-
GLP	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Fonte: Elaboração própria

Tabela 48 – Consumo Energético em Plantas que Empregam a Rota por Via Úmida

Fontes de energia	Consumo de energia (milhões de tep)								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Gás natural	0,10	0,10	0,12	0,19	0,26	0,27	0,35	0,30	0,33
Óleo combustível	0,13	0,13	0,12	0,11	0,08	0,05	-	-	-
Coque de petróleo	0,08	0,08	0,07	0,04	0,04	0,02	-	-	-
GLP	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,11	0,15	0,13	0,14

Fonte: Elaboração própria

Dadas as projeções da demanda de energia do cenário REF e BC, a Figura 11 apresenta o consumo de energia para o subsetor de cerâmica branca. A implementação das MTD resulta na queda de 3% no consumo de energia em 2050 (Figura 11).

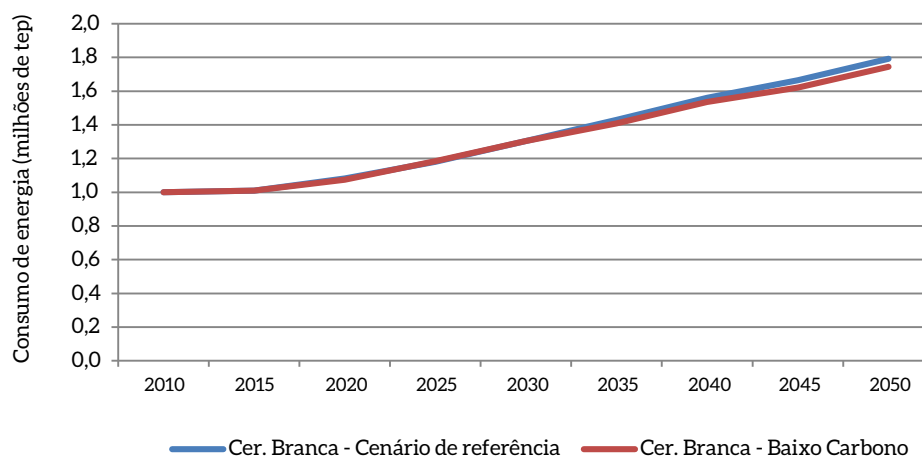


Figura 11 – Consumo de Energia nos Cenários REF e BC no Segmento de Cerâmica Branca

Fonte: Elaboração própria

A partir da projeção da demanda de energia para o cenário BC, foram calculadas as emissões de CO₂ do setor de cerâmica branca. Foram utilizados os mesmos fatores de emissão utilizados para o cenário REF. A Tabela 49 apresenta as emissões totais do subsetor de cerâmica branca para o cenário em análise.

Tabela 49 – Emissões no Segmento de Cerâmica Branca

Ano	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões (MtCO ₂ e)	2,60	2,63	2,74	2,93	3,16	3,35	3,53	3,72	4,00

Fonte: Elaboração própria

Dadas as projeções das emissões de CO₂ dos cenários REF e BC, a Figura 12 consolida as emissões de ambos os cenários. É importante notar que o cenário BC apresenta o potencial de abatimento apenas para a cerâmica branca. Verifica-se um potencial máximo de mitigação, em 2050, de cerca de 9% em relação ao cenário REF.

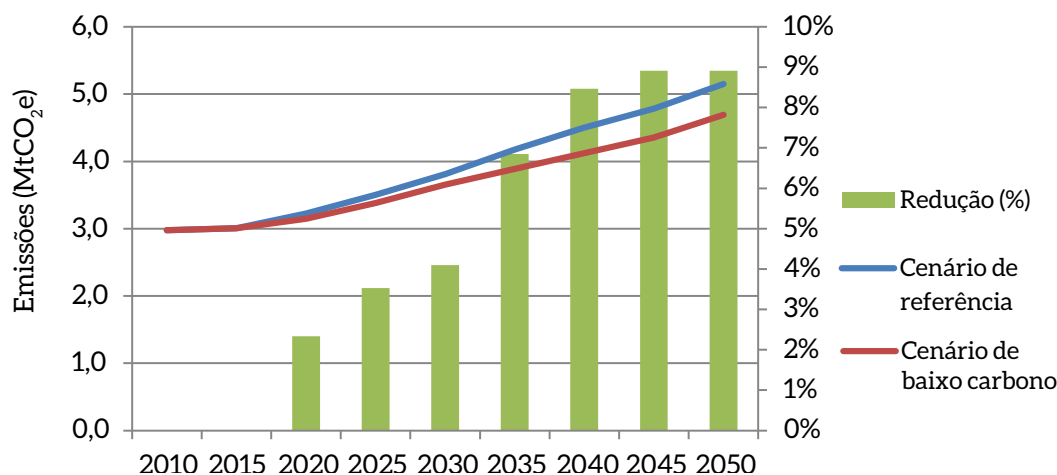


Figura 12 – Emissões de CO₂ nos Cenários REF e BC

Fonte: Elaboração própria

3.2.3 CUSTOS MARGINAIS DE ABATIMENTO

Nesta seção, são calculados os custos marginais de abatimento (CMA) das MTD listadas no início deste capítulo. Inicialmente, serão 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 de cerâmica. 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, que, 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 mesmo for positivo, a mitigação de emissões demanda 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, está determinado a partir do custo incremental com a implementação da medida em comparação com o cenário referencial e das emissões anuais evitadas.

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

Onde, 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.

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

Onde, 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 utilizadas 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.

Quanto à definição das taxas de desconto, houve tentativas de contato com associações de cerâmica, sem retorno. Por isso foram utilizadas taxas consideradas no âmbito de outros estudos da literatura (HENRIQUES JR., 2010; SCHAEFFER; SZKLO, 2009; RATHMANN, 2012), quais sejam: uma social, de 8% ao ano, e uma de mercado, de 15% ao ano.

Tendo em vista os dados necessários para aplicação na Equação 2, fez-se necessário obter os preços de combustíveis constantes na Tabela 50, para serem aplicados no ano-base (2010), visando a obtenção dos CMA.

Tabela 50 – Preços dos Combustíveis

Combustível	Preço	Unidade
Gás natural	0,65	US\$/m ³
Óleo combustível	0,53	US\$/litro
GLP	1,97	US\$/Kg
Óleo diesel	1,06	US\$/litro
Lenha	27,46	US\$/m ³
Eletricidade	147,85	US\$/MWh

Fonte: Elaboração própria

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).

Tabela 51 – Preços de Petróleo Considerados para o Cálculo do Custo Marginal de Abatimento das Possibilidades de Mitigação

Taxa de Desconto	Preço do petróleo (US\$/barril)								
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
15% ao ano (Ótica de mercado)	75	75	75	75	75	75	75	75	75
8% ao ano (Ótica social)	60	55	75	90	105	120	135	140	145

Fonte: Elaboração própria

Perante os cenários de preços do petróleo, foram projetados preços dos insumos energéticos para mensuração dos CMA segundo a taxa de desconto social (Tabela 52). 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 50.

Tabela 52 – 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\$/m ³	0,65	0,65	0,89	1,06	1,24	1,42	1,60	1,66	1,72
Coque de carvão mineral	US\$/bbl	64,17	64,17	87,50	105,00	122,50	140,00	157,50	163,33	169,17
Lenha	US\$/m ³	27,46	27,46	37,44	44,93	52,42	59,91	67,40	69,89	72,39
Óleo diesel	US\$/litro	1,06	1,06	1,45	1,74	2,02	2,31	2,60	2,70	2,80
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
Biodiesel	US\$/litro	1,10	1,15	1,22	1,36	1,59	1,78	1,82	1,78	1,64

Fonte: Elaboração própria

Admitiu-se que 60% dos custos mapeados para estas tecnologias fossem destinados a um conjunto de cinco fornos, perfazendo um montante de US\$ 34,02 milhões. Derivando deste, assumiu-se que 1% seria o custo dos sistemas de controle e automação necessários para a situação otimizada.

Considerou-se também que o consumo de energia por empresa do cenário REF (via úmida) seria de 144.564 Gcal/ano e que haveria redução deste de 10% para o cenário BC, fazendo com que o consumo passasse para 130.108 Gcal/ano, resultando em custo de 625,00 US\$/Gcal por empresa (via úmida). Para a via seca, que não considera o uso do atomizador, assumiu-se 70% do investimento calculado para a via úmida, resultando em 439,00 US\$/Gcal.

3.2.3.2 RESULTADOS

Considerando as premissas adotadas, foram calculados os custos de abatimento para cada medida, bem como seus potenciais de abatimento até 2050, para taxas de desconto de 8% e 15% ao ano (Tabela 53 e Tabela 54).

Tabela 53 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para a Taxa de Desconto de 8%

MTD	Custo de abatimento (US\$/tCO ₂)	Potencial Acumulado de Abatimento (MtCO ₂)
Otimização da combustão em fornos (rota por via seca)	-262,57	11,05
Recuperação calor em fornos	-77,22	10,94
Eficientização de motores elétricos na moagem	60,02	3,33
Otimização da combustão em fornos (rota por via úmida)	83,64	0,02

Fonte: Elaboração própria

Tabela 54 – Custos e Potenciais Acumulados de Abatimento para a Taxa de Desconto de 15%

MTD	Custo de abatimento (US\$/tCO ₂)	Potencial Acumulado de Abatimento (MtCO ₂)
Otimização da combustão em fornos (rota por via seca)	5,84	11,05
Recuperação calor em fornos	145,28	10,94
Eficientização de motores elétricos na moagem	152,33	3,33
Otimização da combustão em fornos (rota por via úmida)	368,13	0,02

Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos mostram que, para todas as medidas, os CMA calculados com a taxa de 15% ao ano são maiores do que os custos calculados com a taxa de 8% ao ano. 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 marginal de abatimento das medidas.

É possível perceber que 87% do potencial de abatimento com taxa de desconto de 8% ao ano apresenta custos negativos, e todo potencial com taxa de desconto de 15% ao ano possui custos positivos. Portanto, grande parte das medidas são atrativas sob o ponto de vista econômico, com taxa de desconto social. Todavia, isso não significa que a medida possa ser implementada, uma vez que barreiras não econômicas, como deficiências regulatórias, aspectos comportamentais, entre outras, podem estar presentes. Mais do que isso, até mesmo barreiras econômicas não captadas nos custos de abatimento podem impedir a adoção das atividades, como é o caso da disponibilidade de crédito para realização dos investimentos. Tais aspectos serão brevemente analisados no capítulo 4. No caso da taxa de desconto de mercado, que é mais próxima do custo de oportunidade do capital aplicado no setor, todas medidas são inviáveis sem a internalização de um preço de carbono compatível na economia.

As curvas de custos de abatimento podem ser construídas no nível de tecnologia/atividade ou setor/programa. As curvas no nível de tecnologia/atividade são mais simples e avaliam cada opção de mitigação separadamente, com base nos seus custos e emissões evitadas. Assim, os efeitos de uma medida não afetam as demais. Para as curvas no nível de setor/programa, as medidas avaliadas têm influência umas sobre as outras (SCHAEFFER et al., 2015). As curvas obtidas neste trabalho foram construídas no nível de tecnologia/atividade (Figura 13 e Figura 14).

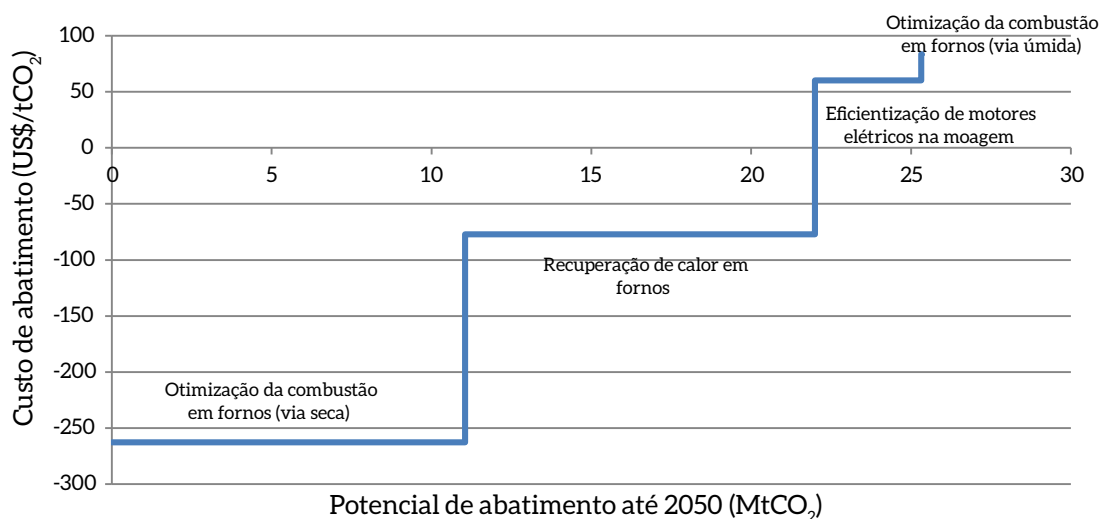


Figura 13 – Curva de Custos e Potenciais de Abatimento para Taxa de Desconto de 8% a.a.

Fonte: Elaboração própria

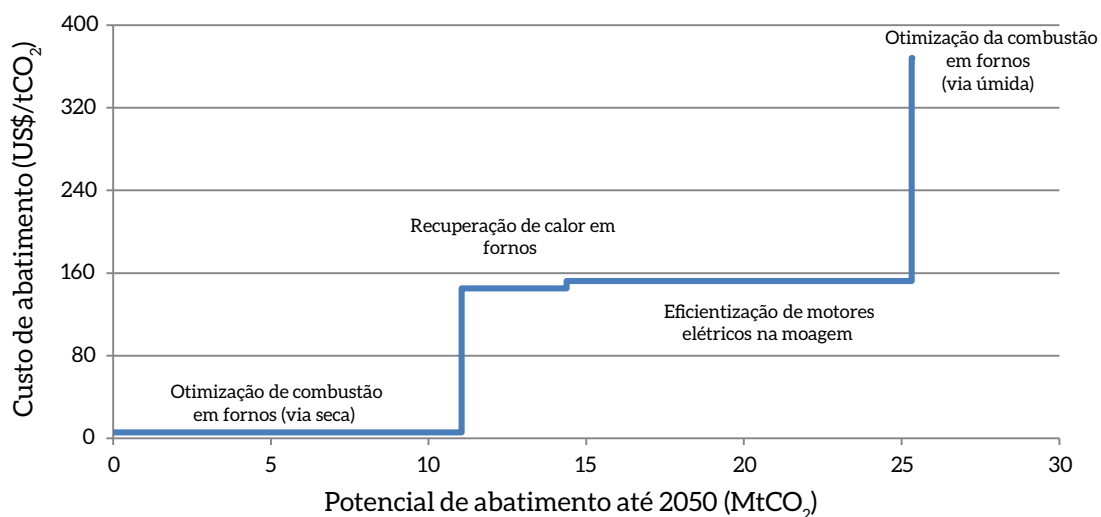


Figura 14 – Curva de Custos e Potenciais de Abatimento para Taxa de Desconto de 15% a.a.

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 25,3 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.

3.3 CENÁRIO BC+I

Este capítulo, primeiramente, descreverá tecnologias de ruptura aplicáveis aos processos produtivos do setor, com potencial de viabilização comercial no longo prazo. Em seguida, serão descritos premissas e parâmetros considerados na construção do cenário BC+I. Por fim, serão apresentadas as projeções de demanda de energia e emissões de CO₂ 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 cerâmica.

Algumas tecnologias que serão descritas já vêm sendo testadas, mas ainda não se encontram na fase comercial. A maioria das tecnologias de inovação consideradas neste relatório não são medidas de inovação *strictu sensu*. São tecnologias difundidas em outros segmentos, porém de aplicação inovadora em se tratando do setor de cerâmica. 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/ou demonstração (PD&D) para aplicação no setor.

3.3.1 TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA O SETOR

3.3.1.1 QUEIMA E SECAGEM POR MICRO-ONDAS

A queima no processo de cerâmica é um passo crítico para o processo de produção. Os gradientes de temperatura podem levar a *stress* térmico e produtos danificados. Pesquisas têm sido desenvolvidas na aplicação de micro-ondas na etapa de queima da produção de cerâmica. Esse processo aquece o produto uniformemente, incluindo o centro da unidade. A fim de evitar perdas de calor pelo forno, a energia pelas micro-ondas tem sido utilizada com a combinação de calor convencional, como gás natural ou energia elétrica (IMPERIAL COLLEGE, 2013).

Problemas técnicos, como aspectos relacionados à segurança da operação, devem ainda ser solucionados para que o processo seja aplicado em larga escala. Testes experimentais indicaram benefícios como (IMPERIAL COLLEGE, 2013):

- Redução do *stress* térmico;
- Aumento do rendimento do produto, i.e., redução dos ciclos de queima;
- Redução do consumo de energia na queima;
- Redução das perdas de resíduos sólidos;
- Melhoria da qualidade, incluindo ganhos nas propriedades mecânicas;
- Redução das emissões devido ao menor consumo de energia;
- Redução das emissões de fluoretos, que estão relacionados com o tempo que o produto permanece a uma temperatura maior que 800°C.

3.3.1.2 IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D é uma tecnologia com potencial de mudar o processo convencional de todos os processos industriais. Há 30 anos, essa tecnologia tem sido utilizada para fabricar protótipos ou modelos, principalmente, para materiais poliméricos ou metálicos (CERAMEUNIE, 2015).

Também chamada de fabricação aditiva, essa tecnologia inicia-se com um *software* de modelagem que registra uma série de imagens digitais de um objeto e envia tais descrições para uma máquina industrial. A máquina usa as descrições para criar um item, adicionando material camada por camada. As camadas, medidas em micron, são adicionadas em centenas ou milhares até que um objeto tridimensional seja formado. As matérias-primas podem estar em formato líquido ou pó e são tipicamente plásticos, polímeros, metais ou cerâmica (FORD, 2014).

Como vantagens de sua utilização podem ser citadas: facilidade em fabricar formas complexas; possibilidade de reformatar peças para adequar a proposta de engenharia e de fabricar peças sem ferramentas caras; economia de custo associada a menor produção laboral, consumo de energia e desperdício de material (CERAMEUNIE, 2015).

3.3.1.3 SENSORES INFRAVERMELHOS PARA SECAGEM

Na secagem por atomização, a distribuição de tamanhos dos grânulos (DTG) determina a fluidez do pó, a qual incide no seu comportamento, fundamentalmente durante o preenchimento das cavidades da prensa. O Instituto de Tecnologia Cerâmica, na Espanha, desenvolveu um projeto que permite importante avanço no controle das variáveis de temperatura especificadas dos gases e a umidade do pó atomizado por meio de medidores infravermelhos, juntamente com um coletor de amostra de pó atomizado. Desse modo, a DTG pode ser medida automaticamente (CNI, 2009).

3.3.1.4 SENSORES INFRAVERMELHOS PARA PRENSAGEM

Na etapa de prensagem da cerâmica (vermelha ou branca), a medida da densidade aparente é realizada de forma manual ou semiautomática, mediante o procedimento de imersão em mercúrio. O emprego com ultrassom tem tido resultados promissores, assim como a instalação de sensores extensiométricos na punção da prensa, a fim de medir a distribuição da pressão no suporte durante a compactação, juntamente com sensores infravermelhos destinados a determinar a umidade do pó (CNI, 2009).

3.3.1.5 RECUPERAÇÃO DE CALOR A BAIXAS TEMPERATURAS

De acordo com o Imperial College (2013), há um potencial maior de recuperação de calor do que aquele considerado como melhor prática na tecnologia atual. Essa recuperação ocorre em temperaturas abaixo de 200°C e exige desenvolvimentos em materiais de troca de calor antes de ser implementada, visto que a recuperação de calor a partir de baixas temperaturas pode levar à condensação de gases ácidos não compatíveis com os materiais atualmente existentes. O potencial de redução de CO₂ é de 5%, com custo de capital de 400 mil libras para cada 1 MW de calor recuperado.

3.3.1.6 UTILIZAÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE OU BIOGÁS COMO COMBUSTÍVEL

Essa tecnologia é mais favorável do que a utilização de biomassa, visto que, na maioria das vezes, o gás de síntese e o biogás podem ser alimentados diretamente nos fornos. No caso do gás de síntese, o nível de substituição pode ser de até 80%, reduzindo em até 28% as emissões de CO₂ associadas à geração de calor. Devem ser considerados os custos relativos do gás natural, do biogás e do gás de síntese para se obter maior entendimento da economicidade dessa oportunidade. Se o gás de síntese e o biogás forem mais caros que o gás natural, o processo apresentará custo adicional que deve ser levado em consideração (IMPERIAL COLLEGE, 2013).

3.3.1.7 FORNOS ELÉTRICOS

O real potencial de descarbonização dessa tecnologia vai depender do fator de emissão do *grid* em questão. A CerameUnie (2015) indica potencial de abatimento entre 1990 a 2050 para a indústria cerâmica europeia de 68% sem a implementação de fornos elétricos e de 78% com a sua implementação.

3.3.1.8 ADIÇÃO DE BIOMASSA NA ARGILA (CERÂMICA VERMELHA)

A adição de biomassa na argila reduz a demanda de energia na queima. O potencial de redução de emissão para todo o setor é de aproximadamente 70 mil tCO₂/ano (CARBON TRUST, 2010).

3.3.2 PREMISSAS

Nesta seção, são apresentados os potenciais de economia de energia e/ou de redução de emissões de CO₂ das tecnologias inovadoras selecionadas. Além disso, é apresentado o nível de maturidade ou prontidão de algumas das tecnologias listadas, bem como suas taxas de adoção atual e de aplicabilidade no setor.

Considerou-se o nível TRL igual a 7 (US DoD, 2011) como a linha de corte para distinguir as tecnologias emergentes ou disruptivas das MTD listadas no capítulo 2. Abaixo de TRL 7, as tecnologias poderão ser consideradas no cenário BC+I, o que implica em atividades de baixo carbono em estágio de pesquisa, desenvolvimento e/ou demonstração. Mais do que isso, foi considerada a aplicação exclusivamente no segmento de cerâmica branca, conforme pressupostos relatados na seção 3.2.

Nota-se que a tecnologia recuperação de calor a baixas temperaturas está em demonstração em ambiente operacional. Portanto, espera-se que tal tecnologia inovadora seja a primeira a ser implementada, visto que a fase a seguir desse processo já seria a comprovação técnica e econômica para sua aplicação na indústria.

A Tabela 55 apresenta as tecnologias inovadoras consideradas no cenário BC+I, com respectivos potenciais e custos.

Tabela 55 – Tecnologias Consideradas no Cenário BC+I

Tecnologias	Potencial de redução nas emissões (%)	Custo (US\$/MW recuperado)
Recuperação de calor a baixas temperaturas	5%	624.000
Utilização de gás de síntese ou biogás como combustível	28%	3.120.000
Aplicação de fornos elétricos	20%	Não disponível

Fonte: Elaborada a partir de DECC, 2015; IMPERIAL COLLEGE, 2013

Para converter o potencial de abatimento das emissões em percentuais de redução no consumo energético, foram consideradas as projeções das emissões de CO₂, do consumo de energia do setor de cerâmica, além da penetração de cada tecnologia inovadora, a partir da fórmula a seguir para cada ano (i):

$$\text{Redução de energia}_i \text{ (Mtep)} = \frac{\text{Consumo de energia}_i \text{ (Mtep)}}{\text{Emissões}_i \text{ (MtCO}_2\text{)}} \times \text{Redução das emissões}_i \text{ (MtCO}_2\text{)}$$

Equação (3)

A redução das emissões de CO₂ está atrelada ao potencial de abatimento das emissões fornecido pela literatura e à taxa de penetração anual de cada tecnologia inovadora. Foi considerado que tais tecnologias entrariam em operação em 2030, com taxas constantes na Tabela 56.

Tabela 56 – Penetração (%) das Tecnologias Consideradas no Cenário BC+I

Tecnologias/ Anos	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Recuperação de calor a baixas temperaturas	-	-	-	-	5%	15%	20%	25%	30%
Utilização de gás de síntese ou biogás como combustível	-	-	-	-	5%	15%	25%	35%	40%
Fornos elétricos	-	-	-	-	5%	15%	25%	35%	40%

3.3.3 RESULTADOS

A partir das premissas listadas, foi possível projetar o consumo de energia e emissões de CO₂ no cenário BC+I.

Tabela 57 – Consumo de Energia do Segmento de Cerâmica Branca no Cenário BC+I

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Consumo de energia (milhões de tep)	1,00	1,01	1,08	1,18	1,30	1,29	1,33	1,32	1,37

Tabela 58 – Emissões de CO₂ do Segmento de Cerâmica Branca no Cenário BC+I

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissões (MtCO ₂)	2,60	2,63	2,74	2,93	3,16	3,07	3,06	3,03	3,15

Finalmente, a Figura 15 e a Figura 16 apresentam, respectivamente, o consumo de energia e emissões de CO₂ do cenário REF, BC e BC+I do setor de cerâmica. Constata-se que a implementação das tecnologias de ruptura implicaria em redução no consumo de energia e emissões de GEE de 2,9% e 25,4% com relação ao cenário REF em 2050, respectivamente.

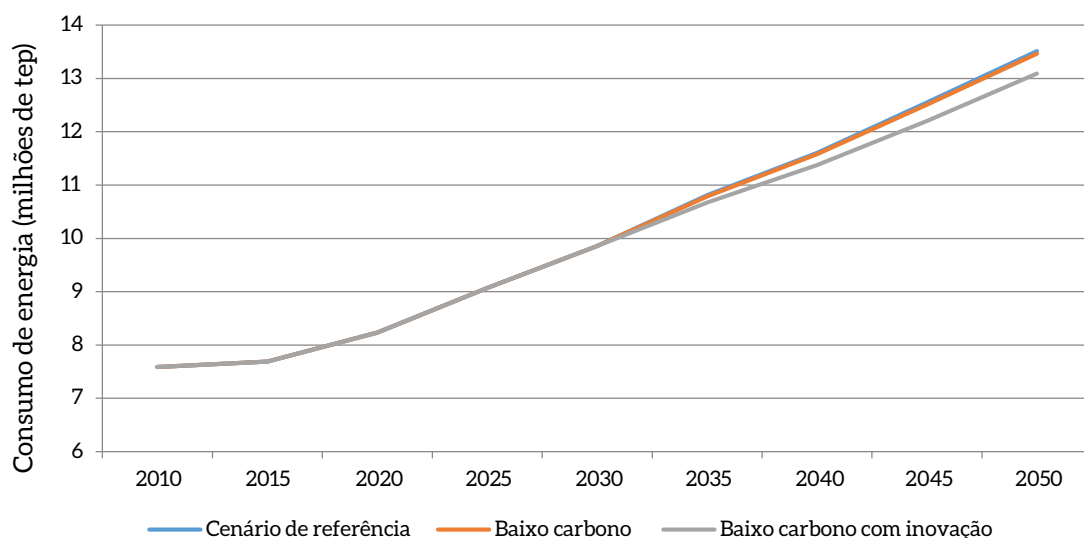


Figura 15 – Consumo de Energia nos Cenários REF, BC e BC+I

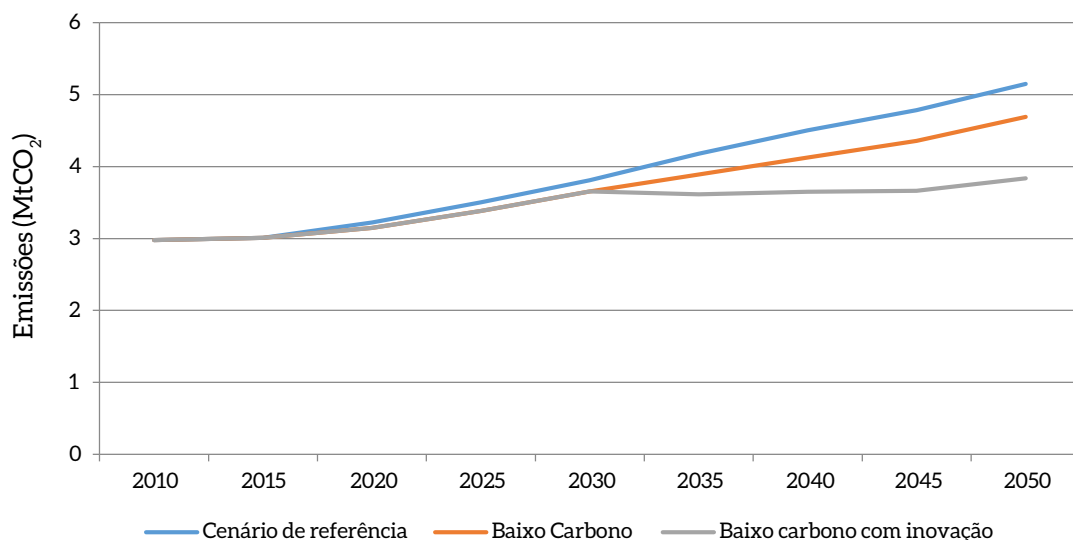
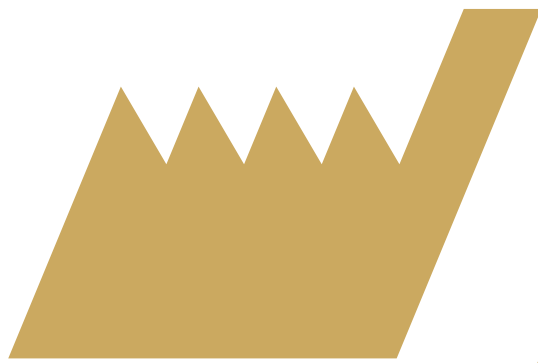


Figura 16 – Emissões de CO₂ nos Cenários REF, BC e BC+I

A tecnologia com maior potencial de abatimento de emissões de GEE é utilização de gás de síntese ou biogás como combustível (28% de abatimento). No entanto, o poder calorífico desses combustíveis é significativamente menor que do gás natural, o que resulta na impossibilidade de substituição completa. Ademais, devem ser considerados os custos relativos do gás natural, do biogás e do gás de síntese para se obter maior entendimento da economicidade dessa oportunidade. Em segundo lugar, aparece a tecnologia fornos elétricos com maior potencial de abatimento de emissões de GEE (20% de abatimento).

Ainda que o potencial de mitigação seja significativo, não devem ser desconsideradas as barreiras à adoção das tecnologias de ruptura, que são tecnológicas 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 para o setor, esta parte, 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 mineração e pelotização.

Pôde-se constatar um potencial acumulado de abatimento de 25,3 MtCO₂e no cenário BC, com a integralidade desse montante apresentando custos de abatimento positivos, segundo a taxa de desconto praticada pelo setor. No entanto, 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 significativamente maior, qual seja, de 25,4% de redução de emissões com relação ao cenário REF, em 2050, com potencial acumulado de abatimento de 37,9 MtCO₂e. 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.

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 DAS ATIVIDADES DE BAIXO CARBONO NO 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. Mais do que isso, serão analisadas para dois blocos de medidas, eficiência energética e tecnologias de ruptura, respectivamente avaliadas nos cenários BC e BC+I.

Existem problemas específicos para cada setor industrial e problemas específicos relacionados ao porte das empresas, que são aplicáveis ao setor de cerâmica. 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.

Conforme se pôde verificar no cenário BC, segundo óticas de taxa de desconto social e de mercado, relevante parte das medidas aplicáveis para mitigar emissões de GEE tem CMA positivos. Além dessa barreira econômica, 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 até mesmo a realização de investimento em medidas viáveis economicamente, pois a conjuntura econômica recessiva afeta a capacidade financeira das empresas, e do governo em conceder 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, sobretudo, 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, consequentemente, a demanda por bens derivados da cadeia, o que dificulta a realização de investimentos em eficiência energética 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).

No caso das medidas viáveis sob o ponto de vista econômico e menos complexas, como é o caso da otimização da combustão em fornos na rota por via seca, com taxa de desconto social, também é necessária a disponibilização de capital para instalação de sensores. Ademais, e em linha com DECC (2015), essa

medida demanda menor prazo de retorno de capital, aspecto que frequentemente impede a sua adoção.

Em termos institucionais e regulatórios, 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 efficientização energética e/ou limites de emissões de carbono se constituem em barreiras à implementação de atividades de baixo carbono.

Em termos comportamentais e informacionais, muitos atores do setor industrial desconhecem a relação custo-benefício das medidas que resultam em efficientização 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. Este 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 de eficiência energética (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 novas tecnologias à configuração das plantas industriais existentes (ZILAHY, 2004). Finalmente, a falta de conteúdo local das tecnologias inovadoras, pode constituir barreira a sua adoção. Tecnologias importadas, como é o caso dos fornos elétricos, têm restrições de manutenção, o que 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 China, Coreia do Sul, EUA e 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 DE EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS COM POLÍTICAS PÚBLICAS 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 subsetores, 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 17, 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 das MTD pelos setores de cal e vidro, é necessário avançar na proposição de instrumentos econômico-financeiros e regulatórios para viabilizar a transição dessas atividades para uma economia de baixo carbono.

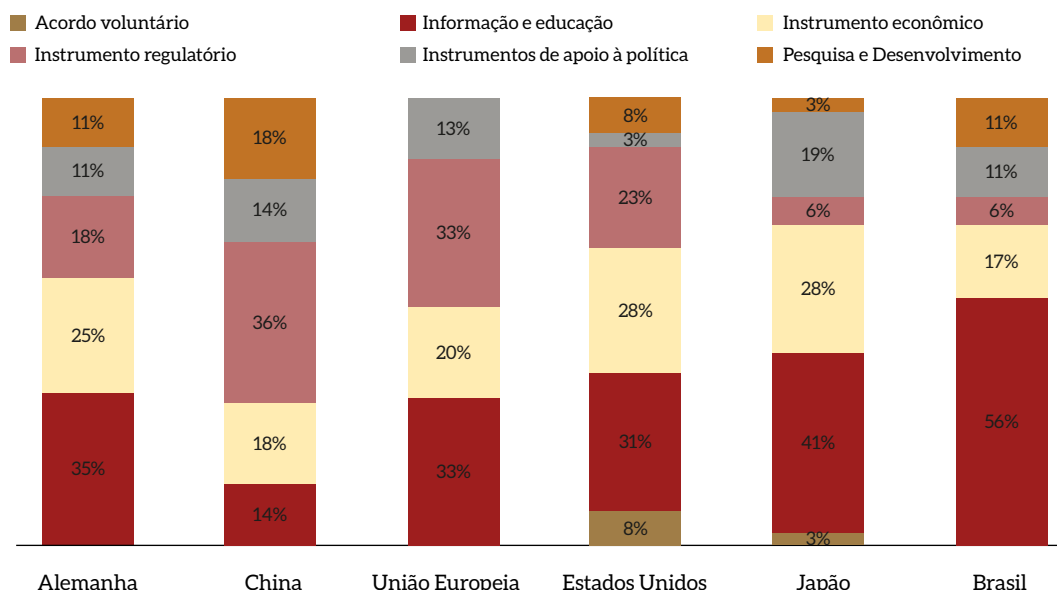


Figura 17 – Instrumentos Utilizados por Países para Promover a Eficiência Energética na Indústria

Fonte: Elaborado a partir de WORLD ENERGY COUNCIL, 2013

A partir de pesquisa bibliográfica em documentos internacionais como World Energy Council (2013) e International Energy Agency (2015), 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 do 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 (CTPI), 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 CTPI;
- 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 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ADOÇÃO DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO

A remoção de 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, requer fluxos significativos e constantes de crédito para a realização de investimentos, motivo pelo qual é preciso ampliar a estrutura de captação financeira 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 efficientização energética do segmento de cerâmica branca. Em virtude do patamar de recursos necessário para adoção das medidas, poderia ser criada, pelo BNDES, a linha de crédito “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 enquanto 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 superar a barreira relacionada à associação do custo das tecnologias de baixo carbono à volatilidade cambial, 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: o estabelecimento de metas de efficientização energética e a 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 ANFACER. O instrumento seria implementado a partir de 2020, e seria condicionado a estudo de curto prazo sobre o impacto orçamentário decorrente da sua adoção.

Um instrumento que promoveria, transversalmente, a adoção de atividades de baixo carbono no setor seria sua inclusão 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 a realização de auditorias energéticas, apresentação de inventários corporativos para médias e grandes empresas e cumprimento de metas de eficiência 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.

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 eficiência 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 aplicadas no setor por meio

do estabelecimento de acordo de cooperação técnica entre MDIC, MCTIC, ANFACER, 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 sensibilidade 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 voltados para a remoção de 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 cerâmico. Ademais, a oferta de estudos conjunturais, estratégicos e tecnológicos para diferentes setores da indústria, voltada para o desenvolvimento sustentável do setor, pela ABDI, deve ser incentivada. Estes instrumentos poderiam ser implementados a partir de 2020.

Para superar a barreira relativa à especificidade das plantas industriais, que muitas vezes limita a adoção de tecnologias de baixo carbono, poderiam ser elaborados estudos detalhados da aplicabilidade das atividades mapeadas pelo projeto nas plantas de cerâmica branca. 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 ANFACER servirem 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 ruptura com 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 2020. Por exemplo, caso seja adotada a precificação de carbono enquanto mecanismo de flexibilização ao cumprimento de metas, parte dos recursos provenientes dela deveriam ser direcionados para o referido plano. Por sua vez, a destinação dos recursos, para o fomento da pesquisa, desenvolvimento e aplicação das tecnologias, entre os diferentes segmentos industriais, seria definida pelo seu comitê gestor, composto por Casa Civil, MDIC, MCTI, MF e MP.

A seguir, no Quadro 2, 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 2 – Quadro-resumo de Medidas, Barreiras e Instrumentos de Política Pública para Adoção dos Cenários de Baixo Carbono

Medidas	Barreiras	Instrumentos
Otimização da combustão em fornos (rota por via seca e rota por via úmida)	- Assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito; - Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões; - Conjuntura econômica e setorial recessiva; - Competição com outros investimentos; - Dificuldade de acesso a crédito e menor prazo de retorno do capital; - Falta de conhecimento técnico para identificar, implementar e operar a medida, em particular em empresas de médio e pequeno porte; - Ausência de viabilidade econômica para adoção das MTD nos segmentos de beneficiamento e pelotização; - Inexistência de linhas de financiamento adequadas para promover a eficiência energética; - Falta de conhecimento sobre as vantagens da eficiência energética; - Resistência à substituição de equipamentos por aversão a mudança, risco de desemprego e complexidade operacional; - Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias; - Restrição à instalação pelo layout da planta.	- Inclusão do setor no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo; - Criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”; - Captação de recursos para investimento em ações de mitigação no GCF, GEF e BID, e CTCN para pequenas empresas; - Diversificação das linhas de crédito existentes para atender pequenas, médias e grandes empresas; - 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; - 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; - Precificação de carbono a partir de 2025; - Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial; - Obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas e apresentação de inventários de emissões para acesso a condições diferenciadas de crédito em bancos públicos de fomento; - Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; - Criação de mecanismos de diferenciação nos processos de compras públicas para empresas que possuam o Selo Eficiência Energética Industrial; - 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; - Financiamento, por meio de agências do fomento à pesquisa, para a elaboração de estudos detalhados de aplicabilidade e potencialidades de tecnologias de baixo carbono.
Recuperação de calor em fornos		
Eficientização de motores elétricos na moagem		
Tecnologias de ruptura do cenário BC+I	- Dificuldade de acesso a crédito para realização de investimentos em P&D; - Ausência de padrões de eficiência energética e/ou limite de emissões; - Falta de capacidade financeira para custear P&D; - Falta de conteúdo local dos motores elétricos; - Falta de adequação aos padrões, normas e regulamentações; - Risco do sobre ou subdimensionamento das novas tecnologias; - Elevado tempo de análise para concessão de patentes; - Restrição à instalação pelo layout da planta.	- Inclusão do setor no Plano Indústria, ou naquele plano que vier a sucedê-lo; - Captação de recursos para investimento em ações inovadoras de mitigação no GCF, GEF e BID; - Diversificação das linhas de crédito para atender pequenas, médias e grandes empresas; - Precificação de carbono a partir de 2025, com retorno dos recursos captados mediante possibilidade de taxação para investimento em P&D de tecnologias de ruptura; - 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; - Estabelecimento de limites de emissão por unidades industriais e/ou combustíveis; - Criação de Selo de Eficiência Energética Industrial; - Retomada do Plano Brasil Maior, visando ao direcionamento para o fomento de tecnologias industriais de baixo carbono; - 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; - 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; - Contratação de servidores e aprimoramento do sistema e-Patentes para diminuir o tempo médio de análise de patentes pelo Inpi.

Fonte: Elaborado pelo autor

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 shape.

Considerações
finais

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo objetivou identificar possibilidades de mitigação de emissões para o setor de cerâmica, 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.

Em função da potencialidade de redução de emissões e valor agregado à produção, foram avaliadas oportunidades de mitigação exclusivamente para o segmento de cerâmica branca, sendo os cenários de baixo carbono e, consequentemente, a proposta de políticas públicas para sua adoção construídos exclusivamente em MTD aplicáveis nesse segmento.

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 25%, respectivamente. O potencial de abatimento de emissões de GEE acumulado até 2050, no cenário BC, é de aproximadamente 25 MtCO₂e, sendo a medida mais representativa a otimização da combustão em fornos na rota por via seca.

A principal barreira para a implementação é a econômico-financeira, visto que a medida é inviável economicamente com taxa de desconto de mercado. Adicionalmente, podem ser destacadas as seguintes barreiras: i) assimetria, falta e altos custos de acesso ao crédito; ii) competição com outros investimentos; iii) falta de conhecimento técnico para identificar, implementar e operar a medida, particularmente em empresas de médio e pequeno porte. Para removê-las, potencializando os cobenefícios associados, é fundamental a implementação dos seguintes instrumentos de política pública: i) diversificação das linhas de crédito existentes para atender pequenas, médias e grandes empresas; ii) criação da linha de crédito “Finem – Eficiência Energética na Indústria”; iii) precificação de carbono a partir de 2025; iv) promoção de atividades de capacitação de técnicos, em parceria público-privada, para a preparação de projetos de eficiência energética.

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 mapeado pelo estudo não representa uma estimativa líquida 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 diversas tecnologias, 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 cerâmica branca, a fim de entender como elas poderiam contribuir para a mitigação desse segmento.

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, será 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 fazem parte da publicação *Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono*.

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

ALVES, H. J. et al. Análise do consumo de energia térmica no setor brasileiro de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, 15 (4) julho/agosto, p. 7-13, 2010.

ALVES, H. J.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Levantamento inicial do consumo de energias térmica e elétrica na indústria brasileira de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 12, n.1/2, p. 17-21, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABC. *Anuário Brasileiro de Cerâmica*. São Paulo: ABC, 2003.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA – ANFACER. *Dados do setor: produção*. 2013. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/produto>>. Acesso em: 23 ago. 2014.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA – ANICER. *Dados do setor*. 2012. Disponível em: <<http://anicer.com.br/setor/>>. Acesso em: 23 ago. 2014.

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/thesis_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. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. *Balanço Energético Nacional 2013: Ano-base 2012*. Brasília: EPE, 2012.

_____. *Balanço Energético Nacional 2016: Ano-base 2015*. Brasília: EPE, 2016a.

_____. Nota Técnica DEA 13/15 – Demanda de energia 2050. Rio de Janeiro: EPE, 2016b.

BRASIL. Instituto Nacional de Tecnologia – INT. *Panorama da indústria de cerâmica vermelha no Brasil*. Relatório Final do Projeto EELA. Rio de Janeiro: INT, 2012.

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 e remoções antrópicas de gases de efeito estufa*. Brasília: MCTI, 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC. *Modelagem integrada e impactos econômicos de opções setoriais de baixo carbono*. Brasília: MCTIC, 2017.

_____. *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Volume 2)*. Brasília: MCTIC, 2016.

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.

CABRAL JR. et al. Panorama e perspectivas da indústria de revestimentos cerâmicos no Brasil. *Revista Cerâmica Industrial*, 15(3) maio/junho, 2010.

CARBON TRUST. *Industrial Energy Efficiency Accelerator*. Guide to the Brick Sector. Londres: CARBON TRUST, 2010.

CERAMEUNIE. *The European Ceramic Industry Association. Paving the Way to 2050*. The Ceramic Industry Roadmap. Bruxelas: CERAMEUNIE, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. *Novas tecnologias para processos industriais: Eficiência energética na indústria*. Brasília: CNI, 2009.

_____. *A indústria do aço no Brasil – Encontro da indústria para a sustentabilidade*. Brasília: CNI, 2012.

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.

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.

FORD, S. L. N. Additive manufacturing technology: Potential implications for U.S. Manufacturing competitiveness. *Journal of International Commerce and Economics*. September 2014. Disponível em: <http://www.usitc.gov/journals/Vol_VI_Article4_Additive_Manufacturing_Technology.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2015.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS – FGV. *Propostas para implementação do plano indústria de baixo carbono – Eficiência energética na indústria*. São Paulo: Centro de Estudos em Sustentabilidade da FGV, 2015.

HADDAD, E. *Projeções macrosetoriais 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.

HALNAES, K.; CALLAWAY, J. M.; MEYER, H. J. *Economics of greenhouse gas limitations – Methodological guidelines*. 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.

IMPERIAL COLLEGE. *Decarbonisation of heat in industry*. A review of the research evidence. Report for the Department of Energy & Climate Change. 2013. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/230949/D13_951813__Ricardo_AEA_Industrial_Decarbonisation_Literature_Review_201___.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Genebra: IPCC, 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. *Energy technology perspectives 2015*. Paris: IEA, 2015.

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.

MENDO, J. *Relatório técnico 74 – Perfil de louças sanitárias e de mesa*. Projeto ESTAL/Ministério de Minas e Energia. Banco Mundial. 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – UNIDO. *Barriers to industrial energy efficiency: A literature review*. Viena: Unido, 2011a.

_____. *Policy options to overcome barriers to industrial energy efficiency in developing countries*. Viena: Unido, 2011b.

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

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.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental/Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – CETESB/FIESP. *Cerâmica branca e de revestimento* – Série P+L. São Paulo: CETESB/FIESP, 2008.

SCHAEFFER, R. et al. *Cenário integrado de baixo carbono*. Subprojeto de modelagem integrada. Projeto Opções de Mitigação de Emissões de GEE em Setores-Chave no Brasil. MCTI: Brasília, 2015.

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.

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

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

UK. Department of Energy and Climate Change and the Department of Business, Innovation and Skills – DECC. *Industrial decarbonisation and energy efficiency roadmaps to 2050: ceramic*. London: UK DECC, 2015.

WORLD BANK. *Overview Brazil*. 2016. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/en/country/brazil/overview>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

WORLD ENERGY COUNCIL. *World energy perspective: Energy efficiency policies: what works and what does not*. Londres: World Energy Council, 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.

