SUBSÍDIOS PARA A ELABORAÇÃO
DE UMA ESTRATÉGIA INDUSTRIAL BRASILEIRA
PARA ECOMONIA DE BAIXO CARBONO

Caderno 5

Nota Técnica Alumínio

© 2012 – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI
Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida, desde que seja citada a fonte.

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
GVces - Fundação Getúlio Vargas - Centro de Estudos em Sustentabilidade

Supervisão
Alexandre Comin – MDIC
Maria Luisa Campos Machado Leal - ABDI

Equipe Técnica da ABDI
Carla Naves – Gerente
Claudionel Campos Leite – Coordenador
Cássio Marx Rabello Da Costa - Especialista
Adriana Torres - Assistente Projetos
Willian Cecílio de Souza - Assistente Projetos

Coordenadora Geral
Carla Maria Naves Ferreira
Gerente de Projetos

Gerência de Comunicação ABDI
Oswaldo Buarim Junior

Supervisão da Publicação
Joana Wightman
Coordenadora de Comunicação

Equipe Técnica MDIC
Demétrio Florentino de Toledo Filho - Assistente Técnico

Equipe Técnica FGV
Mario Monzoni
Guarany Osório
Alexandre Gross
Beatriz Kiss
Gabriel Pinheiro Lima
Gustavo Velloso Breviglieri
Mariana Bartolomei
Pedro Canelas

Consultor
Miguel Edgard Morales Udaeta
Tatiana Magalhães Gerosa

Revisão de texto
GVces - Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
Setor Bancário Norte Quadra 1 – Bloco B – Ed. CNC
70041-902 – Brasília – DF
Tel.: (61) 3962-8700
www.abdi.com.br

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
Esplanada dos Ministérios, Bloco "J"
70053-900 - Brasília, DF,
Tel.: (61) 2027-7000
www.desenvolvimento.gov.br

FGV - Fundação Getúlio Vargas – Centro de Estudos em Sustentabilidade - GVces
Av. 9 de Julho, 2029 - Bela Vista
01313-902 – São Paulo - SP
Tel.: (11) 3799-7777
www.fgv.br

República Federativa do Brasil
Dilma Rousseff
Presidenta

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
Fernando Damata Pimentel
Ministro

Heloísa Guimarães Menezes
Secretária de Desenvolvimento da Produção do MDIC

Alexandre Comin
Diretor do Departamento de Competitividade Indústria da Secretaria de Desenvolvimento da Produção

Beatriz Martins Carneiro
Coordenadora-Geral de Análise da Competitividade e Desenvolvimento Sustentável

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
Mauro Borges Lemos
Presidente

Maria Luisa Campos Machado Leal
Otávio Silva Camargo
Diretores

Carla Maria Naves Ferreira
Gerente de Projetos

Claudionel Campos Leite
Coordenador do Complexo de Eletrônica

Centro de Estudos em Sustentabilidade da FGV/EAESP
Mario Monzoni
Coordenador Geral do GVces

Guarany Osório
Coordenador do Programa Política e Economia Ambiental - Centro de Estudos em Sustentabilidade - GVces

APRESENTAÇÃO

É cada vez maior a responsabilidade de todos os países para redução de gases de efeito estufa (GEE). O Brasil assumiu essa responsabilidade ao aprovar a Lei 12.187/2009, que trata da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), comprometendo realizar um conjunto de ações governamentais e setoriais visando à mitigação e a adaptação aos efeitos da mudança do clima.

A partir da Conferência de Copenhague, Dinamarca, realizada em dezembro 2009, o Brasil estabeleceu cinco segmentos em que atuará para diminuir a emissão de GEE: redução do desmatamento da Amazônia e também do Cerrado; investimento em energia limpa, como os biocombustíveis; substituição da produção de carvão original de desmatamento por carvão de florestas plantadas, e a utilização do plantio indireto na agricultura. Com isso, espera-se que o país reduza entre 36,1% e 38,9% da sua emissão de gases de efeito estufa até 2020.

Com a PNMC deu-se início à elaboração de Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima, regulamentados pelo Decreto nº 7.390/2010. Em 2011 foi determinada a elaboração dos seguintes Planos Setoriais: Indústria; Mineração; Transporte e Mobilidade Urbana; e Saúde. Esses planos, bem como os elaborados anteriormente, subsidiarão a revisão do Plano Nacional de Mudança do Clima de 2012.

O Plano Setorial de Reduções de Emissão da Indústria (Plano Indústria) é de responsabilidade do Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior – MDIC e abrange a Indústria de Transformação, Bens de Consumo Duráveis, Química Fina, Base, Papel e Celulose e Construção Civil.

O objetivo do Plano Indústria é preparar a indústria nacional para o novo cenário que já se desenha, em que a produtividade-carbono, que equivale a intensidade de emissões de gases

de efeito estufa por unidade de produto, será tão importante quanto a produtividade do trabalho e dos demais fatores para definir a competitividade internacional da economia.

O Plano Indústria adotou como referência a meta de redução de emissões de processos industriais e uso de energia de 5% em relação ao cenário tendencial (Business As Usual) projetado para 2020.

Considerando que, tanto no que se refere às emissões diretas quanto aquelas oriundas do Subsetor Energético, poucos setores industriais concentram a maior parte de emissões de GEE. O Plano Indústria propõe que, numa primeira fase, os setores que são responsáveis pela maior parte das emissões sejam focalizados de forma particular.

Com isso, e considerando ainda o estabelecido na Lei 12.187/2009, foi proposto incluir inicialmente os seguintes setores:

- *Alumínio*
- *Cal*
- *Cimento*
- *Ferro-gusa e aço*
- *Papel e celulose*
- *Química*
- *Vidro*

Em conjunto, esses setores foram responsáveis, em 2005, por quase 90% das emissões diretas de GEE da Indústria de Transformação e por mais da metade das emissões derivadas da queima de combustíveis fósseis na indústria. Em 2009, o peso destes setores no Valor Bruto da Produção industrial foi de aproximadamente 19%, embora inclua apenas pouco mais de 5% das empresas industriais.

O Plano Indústria realizará estudos de linhas de base e cenários tendenciais de emissões, levantamento de tecnologias de baixo carbono e oportunidades de mitigação nas cadeias produtivas dos setores considerados e estabelecerá canal permanente de comunicação entre indústria e governo para identificar obstáculos à melhoria de gestão de carbono e encaminhar medidas para superá-los. A partir do estabelecimento dessas pré-condições será possível preparar a indústria para novos avanços na quantificação dos resultados de mitigação.

Inicialmente o foco das ações setoriais do Plano Indústria será a indústria de Alumínio, Cimento, Papel e celulose e Química, seguidos 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.

Para cumprimento das metas estabelecidas no Plano Indústria para o ano de 2012, o Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior – MDIC e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI celebraram convênio para a realização do Estudo Técnico que irá subsidiar a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para economias de baixo carbono para a indústria de Alumínio, Cimento, Papel e celulose, Química e Automotivo.

Para a elaboração das Notas Técnicas, que constituem o Estudo, foi contratada a Fundação Getúlio Vargas. O Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces) coordenou uma série de reuniões e workshops setoriais buscando levantar e estruturar as informações relevantes sobre os assuntos para a elaboração das seguintes Notas Técnicas .

- *Nota Técnica Mensuração, Relato e Verificação de Inventários Bottom-up de Gases de Efeito Estufa no Brasil.*
- *Nota Técnica Papel e Celulose.*
- *Nota Técnica Subsetor Cimento.*
- *Nota Técnica Química.*
- *Nota Técnica Alumínio.*
- *Nota Técnica Eficiência de Motores de Automóveis de Passeio.*

Assim, este caderno contempla a Nota Técnica Alumínio.

Este trabalho constitui importante contribuição do MDIC e da ABDI para a estruturação e consolidação da estratégia nacional para economia de baixo carbono.

SUMÁRIO EXECUTIVO

Alumínio

O Brasil é o sétimo maior produtor de alumínio primário no mundo além de estar entre os principais produtores de bauxita e alumina que são insumos produtivos para produzir o alumínio primário. O país apresenta uma das maiores reservas de bauxita do mundo. Nos últimos anos o setor de produção de alumínio primário veio perdendo competitividade devido principalmente ao aumento de custos que vem enfrentando.

Em termos de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) cerca de 60% das emissões é proveniente de processos industriais, 13% por uso de energia elétrica e 21% de energia térmica (por queima de combustíveis fósseis) , o setor apresentou emissões de 3594 mil toneladas de CO2eq em 2007 na categoria de emissões de processos industriais e também vem reduzindo sua intensidade de emissões por unidade de alumínio produzida nessa categoria. O setor apresenta menor intensidade de emissões do que a média mundial devido principalmente a matriz elétrica brasileira apresentar alta participação de fontes de baixo carbono.

Até 2020, as emissões totais do setor em um cenário otimista de crescimento da produção devem chegar a até 8.874 tCO2eq, ou 98% da "meta" projetada ao setor com base no Decreto 7390.

Uma recomendação importante para aprimorar a análise de potenciais de mitigação no setor é de um estudo detalhado do perfil tecnológico de cada planta industrial e principalmente do perfil de consumo de combustíveis que permita investigar melhor os potenciais de mitigação.

O setor possui um potencial de redução de emissões na categoria de emissões de energia térmica se for possível viabilizar financeiramente e tecnologicamente a substituição dos combus-

tíveis utilizados na produção de alumina para alternativas menos intensivas como gás natural e biomassa. Políticas públicas para expandir a reciclagem do alumínio no país podem contribuir para evitar emissões na produção do alumínio primário. Criar incentivo para estimular maiores reduções na intensidade de emissões de processos industriais também está entre as recomendações de potenciais de mitigação. Para o futuro, existem rotas tecnológicas alternativas em estágio de pesquisa com alto potencial de redução de emissões no mundo que poderiam ter sua pesquisa e desenvolvimento incentivados no Brasil.

SUMÁRIO

1. Perfil Técnico **15**

2. Perfil Econômico **23**

3. Perfil de Emissões **33**

4. Potencial de Redução de Emissões no Setor **55**

5. Cenário de baixo carbono **69**

6. Recomendações finais **79**

7. Bibliografia **85**

8. Anexos **89**

Siglas

Abal – Associação Brasileira de Alumínio

BEN – Balanço Energético Nacional

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento

CO2 – Dióxido de Carbono / Gás Carbônico

t CO2eq – Toneladas de carbono equivalente

CDE – Conselho de Desenvolvimento Econômico

Cetem - Centro de Tecnologia Mineral

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CV – Carvão Vegetal

CWPB - Center Worked Prebake

EC – European Commission

DOE - Department of Energy USA

EUA – Estados Unidos da América

FAO – Food and Agriculture Organisation of United Nations

GEE – Gás de Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GN – Gás Natural

GNC - Gás Natural Comprimido

GNL - Gás Natural Liquefeito

IAI – International Aluminium Institute

IEA – International Energy Agency

LULUCF - Land Use, Land-Use change and Forestry

MACC – Marginal Abatement Cost Curves

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio

MME – Ministério de Minas e Energia

PIB – Produto Interno Bruto

PNE – Plano Nacional de Energia

PNMC - Política Nacional de Mudanças Climáticas

SIN – Sistema Interligado Nacional

Secex – Secretaria de Comércio Exterior

WRI – World Resources Institute

Introdução

Esta nota técnica foi elaborada para dar subsídio técnico ao chamado Plano Indústria pertencente à Política Nacional de Mudanças Climáticas brasileira no que se refere à produção nacional de alumínio. Ao longo da nota, são apresentados os elementos necessários para analisar como o setor produtivo de alumínio primário no Brasil se posiciona em relação ao fenômeno do aquecimento global e o que pode ser feito para melhorar sua intensidade de emissões.

O estudo começa com uma apresentação do perfil técnico dessa atividade industrial, na qual são descritas de maneira simplificada as principais etapas do processo produtivo, bem como algumas particularidades tecnológicas relevantes para compreender a origem das emissões de gases de efeito estufa (GEEs).

A seção seguinte trata do perfil econômico do setor em que são apresentadas as empresas participantes, seu posicionamento em termos de comércio internacional bem como questões relacionadas a sua competitividade face à concorrência externa. A terceira seção do estudo trata do perfil de emissão do setor em que são apresentadas em detalhe todas as fontes de emissão de GEEs do setor, quantificadas as emissões totais e a intensidade carbônica do setor.

A quarta seção investiga todas as ações que podem ser aplicadas para mitigar emissões no setor, o status do Brasil com relação à implementação dessas ações e as barreiras existentes para viabilizar esses potenciais de mitigação. Na quinta seção do estudo, são realizados cenários futuros de emissão do setor até o ano de 2025. Também são analisados cenários de baixo carbono, na qual as maneiras de reduzir emissões no setor são quantificadas.

A seção final do estudo apresenta recomendações de ações necessárias para aprimorar a estratégia de mitigação de emissão no setor que surgiram ao longo das análises realizadas em todas as seções do estudo.

1. Perfil Técnico

Esta seção da nota técnica visa esclarecer de maneira simplificada os conhecimentos mínimos sobre o processo produtivo de alumínio primário. Esses conhecimentos são necessários para se compreender as fontes de emissão de GEEs e discernir potenciais alvos de ações de mitigação de emissões no setor.

1.1 Escopo e objetivo desta nota técnica

O objetivo principal da nota Técnica é analisar todas as questões relacionadas a emissões emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) que estão compreendidas no chamado "Plano Indústria" contido no âmbito da Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC).

Na PNMC, diferentes setores do inventário nacional de emissão[1] estão excluídas do escopo do Plano Indústria da PNMC. Exemplos desses setores que se encontram fora do escopo da PNMC são as emissões decorrentes de: matriz elétrica nacional, resíduos, transportes e mineração. Esses setores não estão sob a responsabilidade do MDIC no âmbito da PNMC e, portanto não foram analisadas visto que estão em outros Planos Setoriais da PNMC.

1.1.1 Escopo de emissões

Essa nota aborda as emissões de escopo 1, na nomenclatura do protocolo GHG[2], que ocorrem por uma ação direta do setor produtivo dentro da fronteira de seu parque industrial. As duas fontes de emissão de escopo 1 analisadas ao longo de toda a nota são aquelas derivadas da combustão estacionária e as derivadas de processos industriais.

1 Para uma descrição dos principais setores que categorizam as emissões de GEEs por fonte em um inventário nacional de emissões ver, por exemplo, IPCC, 2006.

2 O GHG Protocol é a metodologia mais utilizada para a realização de inventários de gases de efeito estufa (GEE). O método é compatível com as normas ISO e com as metodologias de qualificações do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (GHG, 2010).

As emissões por uso de energia elétrica, por ocorrerem fora da fronteira do setor produtivo em diferentes fontes geradoras de energia interligadas ao SIN, são categorizadas como emissões indiretas ou, escopo 2. Somente questões relativas à eficiência no uso de energia elétrica estão sob influência direta do setor produtivo e foram englobadas no escopo desta nota. Ainda apenas para a análise de total de emissões do setor foram quantificadas as emissões absolutas por uso de energia elétrica mesmo estando estas compreendidas no escopo 2 e contidas no escopo do Plano Setorial de Energia da PNMC.

Estão excluídas da análise as emissões decorrentes da:

- *categoria resíduos (pois estará compreendida em outra Plano Setorial da PNMC que não o Plano Indústria),*
- *combustão móvel (por está compreendido no Plano Setorial de Transportes da PNMC)*
- *emissões de escopo 3 do protocolo GHG.*

1.1.2 Escopo de cadeia produtiva

O escopo desta nota técnica aborda a etapa de produção de alumina, também chamada de etapa de refino, porém exclui a etapa de mineração da bauxita, analisada no Plano de Mineração da PNMC. Estão excluídas a produção de qualquer produto transformado de alumínio, como extrudados, laminados, etc. por conta da sua contribuição relativamente baixa para o total de emissões da cadeia de valor do alumínio. O lingotamento de alumínio primário é considerado sempre que este ocorrer na mesma planta onde é produzido o alumínio primário.

O escopo desta nota que compreende as etapas de produção de alumina e produção de alumínio primário são responsáveis pela maior parte das emissões da cadeia de valor de alumínio, como está retratado na subseção 1.1.3.

É importante notar que estão incluídas no escopo desta nota apenas a produção de alumina que é utilizada como insumo pela indústria nacional de alumínio primário. Esta ressalva é importante, pois em 2011 apenas 27% da produção total de alumina do País era destinada para utilização como insumo na produção de alumínio primário nacional enquanto 70% da alumina produzida era exportada (Abal, 2011). Dessa forma quando são contabilizadas as emissões de alumina não se está contabilizando as emissões da parcela que é exportada. Optou-se por essa exclusão, pois o foco central está na cadeia produtiva de alumínio no Brasil. Apenas para a visão geral de perfil de emissões não ficar comprometida, as emissões de produção total de alumina foram incluídas no Anexo 1.

Fica a recomendação para estudos futuros os dois “setores” a produção de alumina da produção de alumínio primário para serem analisadas separadamente, pois, salvo algumas exceções, as plantas de produção e alumina são plantas distintas das plantas de produção de alumínio primário (Abal).

1.1.3 Abrangência do escopo desta nota em termos das emissões totais da cadeia produtiva de alumínio

Esta nota cobre aproximadamente 89% (ECO, 2011[3]) das emissões totais da cadeia produtiva de alumínio (incluindo todas as etapas desde a mineração da bauxita até a produção de produtos semimanufaturados, incluindo também a reciclagem).

A figura na página seguinte retrata a abrangência desta nota técnica de maneira visual.

Tabela 43: Distribuição das Emissões na Cadeia Produtiva de Alumínio por Etapa

	Etapa da cadeia	Participação nas emissões totais
Escopo da nota	Alumínio primário	49%
	Produção de alumina	26%
	Energia elétrica (smelter)	12%
	Ânodo	2%
	Lingotamento	1%
	Produtos semimanufaturados	3%
	Mineração de bauxita	1%
	Reciclagem	5%
	Transportes	1%

Fonte: ECO, 2011. A metodologia do cálculo de emissões não é a mesma do que aquela utilizada nesta nota técnica e não pode ser verificada por não estar pública. Este estudo (ECO, 2011) é o único disponível sobre emissões totais por tonelada de alumínio na cadeia de valor do alumínio brasileira.

Figura 40: intensidade de emissões na cadeia produtiva de alumínio e escopo desta nota técnica (kg co2eq/ t alumínio):

3 *A equipe responsável pela elaboração deste documento teve acesso apenas ao sumário executivo desse estudo às vésperas da data final de entrega desta nota técnica.*

Fonte: ECO, 2011. A metodologia do cálculo de emissões não é a mesma do que aquela utilizada nesta nota técnica e não pode ser verificada por não estar pública. Este estudo (ECO, 2011) é o único estudo disponível sobre emissões totais por tonelada de alumínio na cadeia de valor do alumínio brasileira.

1.1.4 Definição de alumínio primário

O alumínio é um elemento químico muito abundante na terra. Por ser muito reativo quimicamente, não se encontra com facilidade em estado puro, livre na natureza. O alumínio é encontrado associado a outros elementos e, para que se obtenha o metal puro, é necessário utilizar processo industrial de separação.

A bauxita é o principal minério do alumínio e é a matéria-prima básica da indústria produtora desse material.

O alumínio primário é o alumínio que é produzido a partir da bauxita por meio dos processos descritos na seção a seguir. O alumínio secundário é aquele obtido a partir da reciclagem e sucata de alumínio. O alumínio primário é uma das matérias-primas para a indústria de produtos semimanufaturados de alumínio.

1.2 Processo produtivo do alumínio

De maneira simplificada, para produzir alumínio primário, é necessário primeiro obter óxido de alumínio (alumina) a partir de bauxita e depois separar o alumínio puro do óxido por meio de um procedimento químico de eletrólise[4].

Tabela 44: Principais Etapas da Produção de Alumínio Primário

Etapa	Descrição
Mineração de Bauxita	Nesta etapa ocorre a mineração da matéria-prima principal: a bauxita. O tamanho do minério é reduzido por meio de britagem. O minério também pode passar por um processo de lavagem para reduzir o teor de sílica do material. Em algumas plantas, a matéria-prima passa por uma secagem. Esta etapa do processo produtivo não está considerada no escopo desta nota técnica, pois está englobada no Plano de Mineração da PNMC.

4 Definição de eletrólise: Um processo no qual uma reação química é provocada pela passagem de uma corrente eléctrica através de uma solução de eletrólitos. A eletrólise é utilizada para muitos fins, incluindo a extração de metais a partir de minérios, a limpeza de artefatos arqueológicos, e o revestimento de materiais com camadas finas de metal (galvanoplastia). Fonte: The American Heritage Science Dictionary, 2005

Produção de alumina (etapa da refinaria)	Nesta etapa ocorre a transformação da bauxita para alumina calcinada (óxido de alumínio) por meio de uma técnica denominada processo Bayer. As principais fases da produção de alumina, desde a entrada do minério até a saída do produto final são: moagem, digestão, filtração/evaporação, precipitação e calcinação. Essa fase faz uso de energia térmica na etapa de calcinação e na geração de vapor. As principais fontes de energia térmica utilizadas são o óleo combustível e carvão mineral. Algumas empresas usam gás natural. Há também relatos da intenção de uso de biomassa para essa etapa. Não há registros estatísticos públicos que especifiquem as quantidades que são utilizadas de cada tipo de combustível que não o óleo combustível no Brasil.
Produção de alumínio primário (etapa da redução)	Nesta etapa ocorre a transformação da alumina em alumínio metálico por meio de um processo conhecido como Hall-Héroult, que emprega a técnica da eletrólise para separar o alumínio dos outros elementos químicos encontrados na alumina. A alumina é dissolvida em um banho de criolita fundida e fluoreto de alumínio em baixa tensão elétrica, decompondo-se em oxigênio. O oxigênio se combina com o ânodo de carbono, desprendendo-se na forma de dióxido de carbono, e em alumínio líquido, que se precipita no fundo da cuba eletrolítica. Essa etapa é muito alto no consumo de energia elétrica, pois é necessária uma corrente elétrica de muito alta intensidade para que ocorra a eletrólise. Também se faz uso de energia térmica nessa etapa, mas em quantidade relativamente pequena, se comparada à etapa anterior de refino.

Fonte: Abal, IAI.

A tabela acima resume as principais etapas do processo produtivo de maneira simplificada. As duas etapas mais críticas em termos de quantidade de GEEs emitidos são a fase de redução seguida da fase de refino. Isso ocorre, pois a fase de redução gera emissões de processo industrial e é intensiva em energia elétrica. Já a fase de refino necessita de energia térmica a partir da queima de combustíveis fósseis.

No caso brasileiro, existem estimativas que permitem relacionar a quantidade média de insumos produtivos para a produção do alumínio primário. Pode-se verificar o alto consumo energético. A tabela abaixo não apresenta os coeficientes para combustíveis, que não o óleo combustível, e falha em transmitir a intensidade real no uso de combustíveis no setor.

Tabela 45: Insumos por mil toneladas fe alumina, Brasil, 2010

Insumo	Unidade do insumo	Coeficientes
Bauxita	Mil toneladas	2,3818
Energia elétrica	GWH	0,2059
Óleo combustível	Mil toneladas	0,0994
Soda cáustica	Mil toneladas	0,1076

Fonte: Abal, 2011b

.

Tabela 46: insumos por mil toneladas de alumínio primário, Brasil, 2010

Insumo	Unidade do insumo	Coeficientes
Alumina	Mil toneladas	1,9234
Energia elétrica	GWH	15,6133
Óleo combustível	Mil toneladas	0,0200
Coque	Mil toneladas	0,3584
Piche	Mil toneladas	0,1122
Fluoreto	Mil toneladas	0,0221
Criolita	Mil toneladas	0,0053

Fonte: Abal, 2011b.

1.2.1 Principais rotas tecnológicas para produção de alumínio primário

Em termos de alternativas de rota tecnológica existem duas técnicas diferentes utilizadas na etapa redução do alumínio cada qual com suas variantes:

Soderberg, com as seguintes variantes:

- *Horizontal Stud Soderberg (HSS)*
- *Vertical Stud Soderberg (VSS)*
- *Prebake, com as seguintes variantes:*
- *Side-Worked Prebake (SWPB)*
- *Point Fed Prebake (PFPB)*
- *Center-Worked Prebake (CWPB)*

A principal diferença entre as duas está no tipo de ânodo utilizado na eletrólise[5]. O que importa para o objetivo deste estudo é que a técnica Prebake é tida como a mais moderna e mais carbono-eficiente por apresentar maior eficiência energética e na utilização de insumos. Além

5 *Está fora do escopo desta nota detalhar as particularidades de cada uma dessas tecnologias, bem como explicar os princípios da eletrólise.*

disso, a rota Prebake é mais eficaz na mitigação de emissões fugitivas e na redução do chamado efeito anódico [6] responsável por emissões de GEEs (EC, 2009).

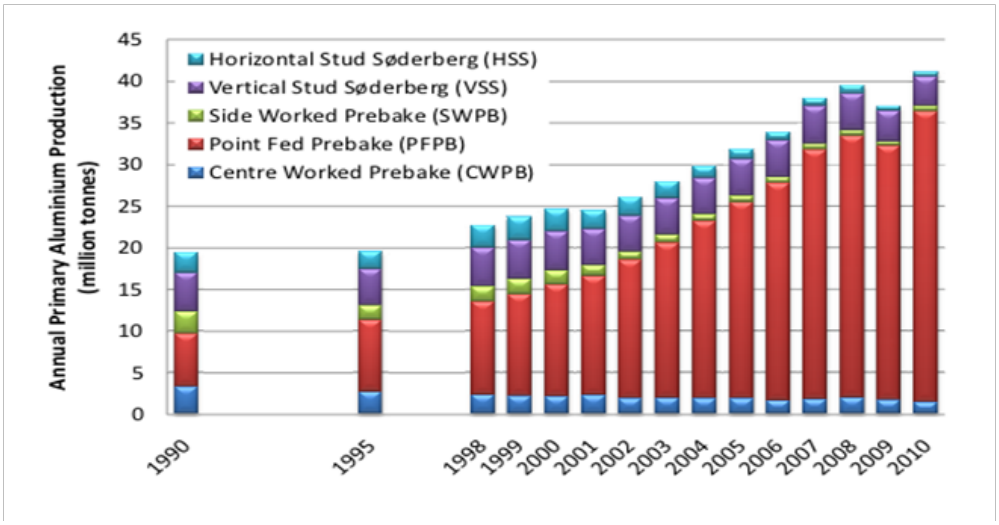
As rotas tecnológicas acima podem ser combinadas com outras técnicas que podem aprimorar a intensidade carbônica independente de ser Prebake ou Soderberg. Existem, por exemplo, certas plantas Soderberg, às vezes denominadas "Soderberg Moderno" que podem ser menos intensivas em emissões de GEEs do que certas plantas Prebake. Isso ocorre em função da adoção de tecnologias e técnicas avançadas de mitigação nessas plantas Soderberg mais eficientes. Existe uma série de técnicas e métodos diferentes que impactam as emissões de GEE que vão além da rota tecnológica utilizada (EC, 2009).

Hoje a variante Center-Worked Prebake (CWPB), adotada em conjunto com a técnica denominada automatic multiple point feeding, é considerada como a melhor tecnologia disponível para produção de alumínio primário em termos de emissão de poluentes, de gases de efeito estufa e de otimização do uso de matéria-prima (EC, 2009). Porém não há evidências estatísticas robustas que comprovem que a rota CWPB é menos intensiva em carbono do que a Point Fed Prebake, que atualmente é a mais adotada no mundo (IAI, 2010).

1.2.2 Perfil tecnológico no mundo

A tecnologia predominante no mundo são as variantes de Prebake. Em especial a chamada Point Fed Prebake é a mais disseminada nacionalmente. As tecnologias Soderberg já se encontram em phase-out em alguns países (IAI, 2010).

Figura 41: evolução dos tipos de tecnologias empregadas na redução de alumínio no mundo



Fonte: IAI, 2010

6 *Efeito anódico: ver seção a seguir sobre "Perfil de emissão: Principais fontes de emissão de GEE".*

1.2.3 Perfil tecnológico no Brasil

No Brasil o tipo de tecnologia utilizado varia de planta para planta. Cerca de 56% da produção nacional de alumínio primário utiliza o método Prebake, na variante Point Fed Prebake, e os outros 44% utilizam o método Soderberg (Abal, 2011).

Essa proporção evidencia que o País caminha junto ao mundo na tendência de utilizar a melhor tecnologia disponível apesar de a proporção de Prebake estar ainda consideravelmente inferior à proporção média mundial.

Falta um perfil tecnológico do setor no País, que vá além da simplificada classificação em apenas Soderberg e Prebake, detalhando minuciosamente todas as técnicas de mitigação e prevenção de emissões utilizadas.

2. Perfil Econômico

2.1 Visão global da indústria no Brasil

O surgimento da indústria de alumínio no Brasil remonta à década de 1940, e seu desenvolvimento foi favorecido pelo fato de o Brasil ter grandes reservas de bauxita e historicamente ter tido energia elétrica abundante e com custo competitivo. Todavia, este último fator sofreu alterações nos últimos anos, e os custos de energia elétrica são constantemente apontados como uma das principais causas da recente perda de competitividade da indústria nacional.

Desta forma, desde a década de 1980 não são instaladas novas fábricas de alumínio no Brasil, período marcado somente por expansões já programadas nas plantas existentes, chegando-se à capacidade atual em torno de 1.600 mil toneladas/ano, sem perspectiva de crescimento (Carboclima, 2011). De fato, os anos de 2009 e 2010 ficaram marcados pelo encerramento das atividades em duas fábricas, da Valesul (no estado do Rio de Janeiro) e da Novelis (no estado da Bahia), resultando em redução da capacidade instalada em 155 Mt/ano (Abal, 2011). Assim, a produção brasileira de alumínio primário em 2010 foi de 1.536,20 mil toneladas com crescimento de apenas 0,06% em relação a 2009.

A produção mundial de alumínio primário foi de 40,8 Mt, sendo o Brasil responsável por 3,8% de tal produção. O País foi o sétimo maior produtor do metal em 2010, perdendo uma posição para a Índia com relação aos anos anteriores, conforme observado na tabela abaixo (MME, 2011).

Tabela 47: Produção Mundial de Alumínio Primário (mil Toneladas)

Alumínio	2006	2007	2008	2009	2010
China	9.358,40	12.558,30	13.178,20	12.846,00	16.194,50
Rússia	3.717,90	3.955,40	4.190,00	3.815,00	3.871,00
Canadá	3.051,10	3.082,60	3.118,80	3.030,30	2.963,20
Austrália	1.929,00	1.959,00	1.974,00	1.943,00	1.928,00

Estados Unidos	2.280,90	2.559,70	2.659,10	1.727,20	1.727,20
Alumínio	2006	2007	2008	2009	2010
Índia	1.105,10	1.221,80	1.307,50	1.478,60	1.609,90
Brasil (7°)	1.604,50	1.654,80	1.661,10	1.535,90	1.536,20
Noruega	1.427,00	1.356,80	1.368,00	1.098,20	1.090,00
Emirados Árabes	789,3	889,5	891,7	1.009,80	1.002,40
Bahrein	872,4	860	871,7	858	858
Outros países	7.839,60	8.088,10	8.448,80	7.784,70	8.030,80
Total	33.975,20	38.186,00	39.668,90	37.126,70	40.811,20

Fonte: MME, 2011.

Nos últimos anos, a elevação na quantidade produzida de alumínio tem sido motivada , cada vez mais pelo intenso consumo chinês. Em 2000, a demanda chinesa respondia por 12,9% do consumo mundial. Em 2010, essa porcentagem passou a 41,3% (BNDES, 2011).

A indústria brasileira, considerando toda a sua cadeia de valor, ou seja extração de bauxita, metalurgia e transformação do alumínio primário faturou US$ 14,7 bilhões em 2010, mostrando crescimento de 15,7% em relação a 2009 (MME, 2011). No que diz respeito a empregos, a indústria, em toda sua cadeia de valor, emprega diretamente 130 mil pessoas, além de adicionais 216 mil pessoas que obtêm sua renda por meio das atividades de reciclagem (Abal, 2010).

A tabela abaixo sumariza as informações discutidas nesta seção, além de apresentar projeções preliminares.

Tabela 48: Informações gerais acerca da indústria de alumínio no brasil

A indústria de alumínio no Brasil – 2010	
Faturamento do setor	US$ 14,7 bilhões
Participação no PIB Industrial do Brasil	2,90%
Postos de trabalho diretos e indiretos	130 mil
Trabalhadores na atividade de reciclagem	216 mil
Para atender à demanda esperada, o setor deverá:	
Investir[1]	Entre R$ 20 e R$ 63 bilhões
Criar novos postos de trabalho	100 mil
O Brasil	
3º maior produtor de bauxita do mundo	
Detém a 3ª maior reserva do minério	
3º maior produtor de alumina	
7º maior produtor de alumínio primário[2]	

Fonte: Abal, 2010.

2.2 Competitividade

1 *Como descrito em Carboclima, 2011 o investimento no "cenário de mudança" desse estudo seria de 63 bilhões até 2025, com entrada em operação de novas plantas em 2014 e 2018.*

2 MME, 2011.

É possível notar que o desenvolvimento na indústria de alumínio, no Brasil e globalmente, está relacionado com um fenômeno de grande verticalização das empresas, as quais visam garantir o fornecimento de matérias-primas e de reduzir custos e, assim, tornar novos investimentos viáveis economicamente. Dessa maneira, estima-se que seja necessária uma escala mínima de aproximadamente 400 Mt/ano.

Cinco fatores são apontados como os principais fatores que afetam a competitividade das empresas e países no que diz respeito à produção de alumínio primário (Abal, 2011b), que são:

- *Escala de produção*
- *Disponibilidade e custo de energia*
- *Tecnologia utilizada*
- *Localização (proximidade de matéria-prima)*

2.2.1 Escala de produção

Conforme mencionado anteriormente, novas plantas são consideradas viáveis economicamente quando possuem capacidade instalada de cerca de 400 Mt/ano, cifra alcançada por três das cinco unidades em operação no Brasil, conforme observado na tabela abaixo, de acordo com a tecnologia adotada.

Tabela 49: informações gerais acerca da indústria de alumínio no brasil

Prebake	
Albrás	460 mil t/ano
Alumar	450 mil t/ano
Total Prebake	910 mil t/ano
% da produção nacional	55,90%
Soderberg	
Alcoa	97 mil t/ano.
Novelis	51 mil t/ano
CBA (previsto para 2012)	570 mil t/ano
Total Soderberg	718 mil t/ano
% da produção nacional	44,10%

Fonte: Abal, 2011

2.2.2 Idade média

A indústria brasileira de alumínio primário surgiu na década de 1940, mas passou a se desenvolver com maior intensidade a partir dos anos 1960 e 1970 e, logo, possui menor idade (em média) do que a indústria mundial.

No Brasil, a idade média das instalações ainda em operação é de 34,5 anos, enquanto a média global é de 39 anos. Entretanto, é importante destacar que Austrália, Índia, Canadá, China e África do Sul possuem plantas mais novas, com idade média em torno dos 30 anos (Abal, 2011b).

2.2.3 Tecnologia utilizada

A evolução da indústria nos últimos anos aponta para a tendência de aumento da participação, crescimento da tecnologia Prebake. Desta forma, esta última responde por cerca de 75% da capacidade instalada no mundo (Abal, 2011b).

No Brasil, conforme observado na tabela anterior, a tecnologia Soderberg é encontrada em aproximadamente 44,1% da capacidade instalada, enquanto a Prebake responde por cerca de 55,9% do total.

2.2.4 Disponibilidade e custo de energia

A indústria de alumínio primário é considerada eletrointensiva, tendo na energia elétrica seu principal insumo, especialmente na obtenção de alumínio primário a partir da alumina.

Tal insumo responde historicamente por algo em torno de 35% a 40% dos custos totais de produção (Abal, 2010). Hoje aproximadamente de 60% do gasto total do setor com energia elétrica se refere ao custo específico da energia elétrica, e cerca de 40% são provenientes de tributos, encargos do setor elétrico e outas despesas que não a parcela de energia.

Com isso, a despesa total com energia elétrica, que corresponde às despesas de aquisição e de autogeração, correspondeu a 38% do valor da produção de alumínio primário em 2009 (Abal, 2011b).

Em 2010, a indústria brasileira consumiu 23.982 GWh de energia elétrica, ou 15,6 MWh/tonelada do metal, para produzir 1.536 mil toneladas de alumínio primário, contra 15,2 MWh/tonelada do ano de 2009. Já nos últimos dez anos, a média brasileira foi de 15,1 MWh/t de alumínio primário, enquanto no mesmo período, a média mundial foi de 15,3 MWh/t do metal (Abal, 2010).

Tabela 50: elevação (%) do custo médio da energia elétrica para os 10 maiores produtores mundiais, 2003 a 2010

País	Elevação do custo (2003-2010)
Rússia	184,7%
Brasil	162,0%
Noruega	102,2%
Alemanha	100,5%
China	72,4%
Canadá	69,1%
África do Sul	67,3%
Austrália	63,2%
Estados Unidos	30,4%
Índia	19,4%

Fonte: Abal, 2011b

É também importante ressaltar que o Brasil, assim como o Canadá, destaca-se pelo uso de energia hidrelétrica como sua principal fonte de eletricidade, enquanto países como Austrália e África do Sul utilizam majoritariamente carvão mineral, e Bahrein e Emirados Árabes Unidos adotam principalmente o gás natural.

2.2.5 Localização (proximidade de matéria-prima)

A localização das refinarias próximas às reservas de bauxita diminui os custos operacionais relacionados ao transporte de matéria-prima. A localização das reduções próximas às refinarias e às fontes de energia reduz os custos operacionais relacionados a transporte e de distribuição de energia elétrica.

2.3 Comércio exterior

As exportações brasileiras de alumínio e seus produtos alcançaram a marca de 737 mil toneladas no ano de 2010, gerando US$ 1,8 bilhão em divisas para o País. Em comparação com o ano de 2009, tais números representaram uma queda de 19,3% na quantidade exportada (tabela a seguir), mas um crescimento de 4,7% em valor.

Dentre o total das exportações, o alumínio primário é o principal bem exportado, conforme observado na tabela abaixo, representando mais de 80% do total exportado em 2010, percentual consistente ao longo dos últimos anos.

Tabela 51: Exportações brasileiras de alumínio

Alumínio (t)	2006	2007	2008	2009	2010
1.1 Primário/Ligas	842.060	823.266	747.921	754.060	606.426
1.2 Sucata	1.001	15	1.793	512	1.884
1.3 Semiacabados	187.799	200.982	176.225	142.065	112.547
1.4 Outros	14.826	20.825	20.324	17.652	16.400
Total	1.045.686	1.045.088	946.263	914.289	737.257

Fonte: MME, 2011.

A relevância da indústria de alumínio na pauta de exportações do Brasil merece ser destacada, uma vez que a indústria representou aproximadamente 2,7% das exportações totais brasileiras no período entre 2002 e 2009 (BNDES, 2011).

Os principais destinos para as exportações de alumínio primário por parte da indústria nacional em 2010 foram, em ordem de relevância, Japão (35,6% do total), Suíça (31,6%), Estados Unidos (8,1%), Itália (7,1%) e os Países Baixos (6,6%) (MME, 2011).

Tabela 52: importações brasileiras de alumínio (cap. 76 da ncm/sh)

Alumínio (t)	2006	2007	2008	2009	2010
1.1 Primário/Ligas	11.629	22.403	18.484	16.776	55.336
1.2 Sucata	54.557	103.487	92.739	59.238	46.565
1.3 Semiacabados	65.888	75.201	87.892	72.171	127.067
1.4 Outros	10.516	10.959	12.968	15.636	49.157
Total	142.590	212.050	212.083	163.821	278.125

Fonte: MME, 2011.

O Brasil historicamente é exportador líquido de alumínio, embora o superávit da balança comercial do subsetor venha diminuindo nos últimos anos, conforme observado na tabela abaixo.

Tabela 53: Balança Comercial De Metais Não Ferrosos (103 US$ FOB)

	2006	2007	2008	2009	2010
Alumínio	2.189.233	2.134.735	1.803.292	1.051.443	624.016

Fonte: MME, 2011.

2.4 Principais empresas

A produção brasileira de alumínio primário e alumina está concentrada nas mãos de cinco grandes companhias (após o encerramento das atividades da Valesul em 2009):

- *Albras Alumínio Brasileiro*

- *Novelis do Brasil Ltda. (Alcan)*
- *Alcoa Alumínio S.A.*
- *BHP Billiton Metais S.A.*
- *VMetais - Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), que pertence ao Grupo Votorantim*
- *Alunorte (somente alumina)*

Em 2011, a principal empresa produtora brasileira foi a Albras, com 458,1 mil toneladas; seguida pelo consórcio Alumar (cujos principais acionistas são a Novelis/BHP Billiton), com produção de 438,3 mil toneladas; e depois pela VMetais-CBA com 409,0 mil toneladas (Abal, 2011).

A Votorantim possui participação acionária em diversas empresas da indústria brasileira de alumínio e é o principal grupo produtor de alumínio no País (CNI, 2011).

2.4.1 Alcoa [3]

Na década de 1960, a Alcoa adquiriu suas primeiras reservas de bauxita em Poços de Caldas (MG) e no ano de 1970 já estava produzindo alumínio. Já na década de 1980, a empresa se associou à BHP Billiton e formou a Alumar (Consórcio de Alumínio do Maranhão), tendo participação majoritária em tal empreendimento.

A unidade de Poços de Caldas possui capacidade produtiva de 97 Mt/ano, com o produto sendo vendido em forma de lingotes, tarugos e alumínio líquido (Abal, 2011).

A empresa também detém o controle da mina de Juruti, no estado do Pará, inaugurada em setembro de 2009, com produção de 446,1 mil toneladas de bauxita, atingindo 2.598,3 mil t em 2010 e vida útil prevista de 70 anos.

2.4.2 BHP Billiton

A BHP Billiton é uma empresa de mineração australiana que atua nos mercados de minério de ferro, petróleo, carvão mineral, cobre, manganês, níquel, prata, zinco e alumínio. A empresa é a sétima maior produtora de alumínio primário do mundo e no Brasil participa do consórcio Alumar, no Maranhão, em parceria com a Alcoa (BNDES, 2011).

2.4.3 VMetais - CBA[4]

A Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) foi à primeira indústria de alumínio a ser instalada no País, sendo integrante do grupo Votorantim desde 1946. Teve o início de suas operações em 1955, com uma produção de 4 mil toneladas/ano na cidade de Alumínio (antiga Rodovalho), no estado de São Paulo[5].

3 BNDES, 2011.
4 BNDES, 2011.
5 Acesso em 14 de junho de 2012.

A empresa é a maior em termos de capacidade instalada (475 mil toneladas/ano, até 31 de dezembro de 2011), e possui previsão de expansão para 570 mil toneladas/ano até o final de 2012. A CBA possui suas próprias jazidas de bauxita (em Poços de Caldas, Itamarati de Minas e em Miraí, no estado de Minas Gerais, e com participação acionária na MRN, no Pará) e é, assim, autossuficiente no fornecimento de bauxita.

Além de possuir a maior escala de produção, a CBA também se destaca pela autogeração de energia elétrica, com 18 usinas hidrelétricas próprias fornecendo cerca de 60% das necessidades de eletricidade de sua planta. Para fins de comparação, a média mundial de autogeração de energia na indústria de alumínio foi de 28% em 2010. A CBA é uma empresa da Votorantim Metais (VMetais).

2.4.4 Albras

A Alumínio Brasileiro SA é uma companhia brasileira de capital fechado que foi instalada em 1985, no município de Barcarena. Em 2011 a companhia fechou o ano como a segunda maior produtora de alumínio primário, tendo produzido um total de 458,1 mil toneladas de alumínio primário o que correspondeu a cerca de 30% da produção total do País (Abal 2011).

2.4.5 Novelis do Brasil S.A.

Sediada em Atlanta, Estados Unidos, a Novelis mantém por meio de suas subsidiárias e associadas localizadas na Ásia, Europa, América do Norte e América do Sul atividades de mineração de bauxita, refinação de alumina, produção de alumínio primário, laminação de alumínio e reciclagem, assim como pesquisa e tecnologia. A Novelis é o principal fabricante de laminados de alumínio na Europa e na América do Sul, o fabricante número dois na América do Norte e na Ásia e a líder global em reciclagem de latas de bebida em alumínio (Novelis, 2012).

2.4.6 Alunorte (Hydro)

A Alumina do Norte do Brasil S.A. (Alunorte) é uma empresa produtora de bauxita e alumina formada a partir de acordo realizado pelos governos do Brasil (representado pelo diplomata Gilbert Ducry) e do Japão em 1978 (com a participação da Companhia Vale do Rio Doce) para a criação da empresa. O acordo tinha como finalidade a integração da cadeia produtiva do alumínio no Pará (bauxita, que é a matéria-prima da alumina).

Foi construída em Barcarena, situado a 40 quilômetros de Belém. Em 1995, iniciaram-se as operações. Hoje a empresa é controlada pela multinacional Hydro (Alunorte, 2012).

2.5 Investimentos

Conforme demonstrado anteriormente, a indústria de alumínio primário observou uma redução recente de sua capacidade produtiva com o fechamento de duas unidades desde 2009. Esse

cenário se reflete nos investimentos realizados pelas empresas do setor, os quais atingiram a cifra de US$ 1,4 bilhão em 2010, representando uma queda de 26,3% frente a 2009 (MME, 2011).

Tabela 54: Investimentos Da Indústria Brasileira De Alumínio (US$ 10^3)

Alumínio	Investimentos - US$ bilhões			
2006	2007	2008	2009	2010
1,4	1,9	2,5	1,9	1,4

Fonte: MME, 2011

Todavia, dentre os investimentos realizados nos últimos anos, vale destacar as iniciativas da Alcoa e da CBA, visando respectivamente à modernização e a expansão de suas unidades. A Alcoa está investindo R$ 365 milhões, dos quais R$ 248 milhões voltados a um projeto de modernização de sua produção de alumínio primário chamado New Soderberg, em sua fábrica em Poços de Caldas (MG), de forma a torná-la apta para operar por, ao menos, mais 40 anos como uma das mais modernas plantas do mundo (CNI, 2011).

Já a CBA, como mencionado previamente, prevê expandir a capacidade produtiva de sua unidade em Alumínio (SP) de 475 mil toneladas/ano para 570 mil toneladas/ano até o final de 2012 (Abal, 2011), mantendo a empresa como a maior produtora de alumínio primário no Brasil.

3. Perfil de emissões

Esta seção analisa as emissões de GEEs que ocorrem no escopo desta nota.

Primeiramente a metodologia utilizada na seção é apresentada. Na subseção seguinte são apresentadas as principais fontes de emissão de GEEs que ocorrem na produção de alumina (etapa do refino) e na produção de alumínio primário (etapa da redução).

Na seção 2.3, são apresentados os tipos de gases de efeito estufa emitidos no escopo desse estudo. Na seção 3.4, são calculados os valores absolutos de emissão de GEEs para o caso brasileiro. E, por último, a seção 2.5 analisa indicadores de intensidade energética e carbônica no Brasil.

3.1 Metodologia adotada para perfil de emissões

Além das considerações feitas na seção 1.1 com relação ao escopo desta nota técnica, a metodologia-base para qualquer análise de emissões de GEE é aquela proposta pelo Protocolo GHG do Setor de Alumínio (IAI & WRI, 2006), compatível com a norma ISO 14.064 e com as metodologias do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), em especial aquelas descritas em IPCC, 2006, volume 3, capítulo 4, seção 4.4.

Para analisar questões relativas a emissões de GEEs por queima de combustível de fontes estacionárias a metodologia base está descrita em GHG, 2005.

As especificações e definições gerais que norteiam o protocolo GHG Brasil também norteiam toda a nota técnica, e estão descritas em GHG Brasil, 2010.

Ao longo dessa seção são analisadas emissões diretas (escopo 1 do protocolo GHG) e indiretas (escopo 2 do protocolo GHG) decorrentes das seguintes fontes:

1. Emissões decorrentes do uso de energia térmica: são as emissões de GEEs que decorrem da queima de combustíveis. A queima de combustíveis ocorre tanto na etapa de refino quanto na etapa de redução, sendo que a etapa de refino apresenta um consumo de combustível consideravelmente maior do que a etapa de redução. Essas emissões são consideradas como emissões diretas (escopo 1 do protocolo GHG).

2. Emissões decorrentes do uso de energia elétrica: são aquelas associadas ao consumo de energia elétrica do setor. O uso de energia elétrica ocorre nas etapas de redução e refino sendo consideravelmente mais elevado na etapa de redução. Essas emissões são consideradas como emissões indiretas (escopo 2 do protocolo GHG), pois a energia elétrica utilizada é toda interligada ao SIN (independente de ser obtida por autogeração ou não).

3. Emissões decorrentes de processos industriais: são as emissões de GEEs antrópicas resultantes dos processos produtivos na etapa de redução (produção de alumínio primário) e que não são provenientes da queima de combustíveis. Essas emissões são consideradas como emissões diretas (escopo 1).

Nesta nota técnica, não são analisadas emissões de resíduos e nem de transportes, visto que essas estão compreendidas no escopo de outros Planos da PNMC que não o Plano Indústria. O lingotamento do alumínio primário está compreendido no escopo de emissões desse estudo, sempre que ele ocorrer dentro da planta de alumínio primário e está englobado na categoria de emissões de energia térmica.

3.2 Principais fontes de emissão

Esta seção objetiva listar e conceituar as principais fontes de emissão de GEEs nas etapas de refino e redução para produção de alumínio primário. Todas as fontes listadas nesta seção foram levantadas a partir das seguintes referências bibliográficas: IAI & WRI, 2006; IPCC, 1996; IPCC, 2001; IPCC, 2006, EC, 2009; IEA, 2012.

A princípio, todas as fontes de emissão de GEEs aqui listadas se aplicam ao caso brasileiro, porém algumas fontes de emissão podem não ocorrer nas plantas brasileiras, o texto irá explicitar sempre que não houver certeza sobre a ocorrência de determinada fonte de emissão no caso brasileiro. É importante ressaltar que diante da falta de um perfil tecnológico detalhado das plantas nacionais, nem sempre é possível apontar com precisão se determinada fonte de emissão ocorre no caso nacional.

Esta seção apresenta apenas a natureza dos processos que são fontes de emissões, o cálculo das emissões verificadas para o caso brasileiro é feito na seção 3.4 desse estudo.

3.2.1 Emissões decorrentes de processos industriais

As fontes relevantes de emissão de GEE não decorrente de energia durante a produção de alumínio são:

- Fase de redução (eletrólise)

É a maior fonte de emissão de dióxido de carbono proveniente do processo industrial. O ânodo de carbono que reage com a alumina resulta em emissões de CO2. Denominam-se genericamente emissões decorrentes do consumo de ânodos. A reação química em questão é:

$$2Al_2O_3 + 3C \rightarrow 4Al + 3CO_2$$

Ainda nessa etapa ocorrem outras duas reações que também resultam em emissão de CO_2:

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

- Efeitos anódicos: A segunda maior fonte de emissões de processos industriais, Durante a fase da redução pode ocorrer um fenômeno denominado "efeito anódico", que gera emissão de dois tipos de gases de efeito estufa de alto potencial de aquecimento global (alto GWP[1]) . Esses gases são membros da "família" dos perfluorcarbonetos (os chamados gases PFCs), a saber: tetrafluormetano (CF_4) e hexafluoretano (C_2F_6).

O efeito anódico ocorre na etapa da eletrólise da alumina. A ocorrência desse fenômeno está associada à redução da concentração de alumina, abaixo do nível ideal para maximizar a eficiência do processo e gera como consequência uma elevação na voltagem das células eletrolíticas. Esse processo é, portanto um tipo de ineficiência produtiva que resulta em desperdício de energia e de insumos produtivos ao mesmo tempo em que atrasa e reduz a produção.

As reações químicas relevantes são:

$$Na_3AlF_6 + 3/4C \Rightarrow Al + 3NaF + 3/4CF_4$$

$$Na_3AlF_6 + C \Rightarrow Al + 3NaF + 1/2C_2F_6$$

- Processos auxiliares durante a fase de redução: É uma fonte minoritária de emissões que ocorre especificamente para tecnologias Prebake. Pode ocorrer emissão de CO2 a partir de combustão de componentes voláteis encontrados no piche utilizado para a fabricação do ânodo.

---

1 Potencial de aquecimento global ou fator de aquecimento global, em inglês Global Warming Potencial (GWP) é uma maneira de medir o quanto determinado tipo de gás de GEE contribui para o aquecimento global impedindo calor de sair da atmosfera. Existem GEEs que contribuem muito mais para o aquecimento global do que o dióxido de carbono. O GWP é uma medida relativa do quanto uma certa massa de um tipo de GEE (que não CO2) retém calor para uma mesma massa de CO2. Seguindo esta definição o GWP do CO2 é 1. O GWP é calculado para determinado período de tempo (séculos). Exemplos de gases com maior GWP que o CO2 são: metano, óxido nitroso, HFCs, PFCs, etc. Esses GEEs podem apresentar potencial de aquecimento global da ordem de dezenas de milhares de vezes maior do que o do dióxido de carbono para determinado período de tempo.

Outra fonte potencial de emissões de CO_2 ocorre com a oxidação do coque de petróleo do ânodo.

Uma terceira fonte potencial de emissão de CO_2 ocorre com a calcinação do coque de petróleo nos casos em que a planta industrial não adquire coque de petróleo pré-calcinado. Segundo a Abal, essa fonte não ocorre no Brasil, visto que todas as plantas adquirem o coque já calcinado (ABAL, 2012b).

Pode também ocorrer emissão de CO_2 no sistema de controle de poluição de ar, caso sejam empregados carbonato de sódio para controlar gases ácidos emitidos no processo descritos pela reação a seguir:

$$Na2CO3 + x \rightarrow CO2 + y$$

onde "x" representa componentes de gases ácidos e "y" algum tipo de sal de sódio resultante da reação. Segundo a Abal, não se utiliza esse processo nas plantas brasileiras (ABAL, 2012b).

- Fase de refino (produção de alumina)

As emissões de processos industriais na fase de refino são nulas e apenas ocorrem em plantas que realizam o processo descrito a seguir.

Algumas plantas de refino de alumina realizam calcinação de carbonato de cálcio para obtenção de hidróxido de cálcio o que libera dióxido de carbono segundo esta reação química:

$$CaCO3 + H2O \rightarrow Ca(OH)2 + CO2$$

Segundo a Abal, não se utiliza esse processo nas plantas no Brasil e, portanto, não há emissões de processo industrial na fase de refino (ABAL, 2012b).

3.2.2 Emissões decorrentes do uso de energia térmica

- Fase de refino (produção de alumina)

A maior parte das emissões por uso de energia térmica, no escopo de análise desta nota, é proveniente da fase de refino onde ocorre queima de combustíveis fósseis utilizados para fornecer energia térmica aos fornos de calcinação do hidrato de alumina. Combustíveis também são empregados em outros processos auxiliares como, por exemplo a geração de vapor.

Em conversas com especialistas do setor, averiguou-se que a maioria da energia térmica utilizada nas plantas na etapa de refino é consumida para calcinação e geração de vapor, porém não foi possível obter a proporção exata de energia que é consumida por cada um desses processos para o caso brasileiro.

A qualidade da bauxita utilizada está diretamente relacionada com a quantidade final de emissões decorrentes desse processo. Se a bauxita é de baixa qualidade (baixo teor de alumina) é necessário uma maior quantidade de energia térmica para extrair a alumina e por consequência as emissões de GEEs são mais elevadas.

No Brasil faltam dados detalhados sobre quais tipos de combustíveis são utilizados na refinaria. Sabe-se apenas que esses combustíveis são todos fósseis, a saber: óleo combustível, carvão mineral e gás natural. Somente estão disponíveis dados de consumo para o óleo combustível.

- Fase de redução (eletrólise)

Para o método Prebake ocorre consumo de combustível nas fornalhas onde o ânodo é preparado. Como o combustível é fóssil ocorrem emissões de GEEs. O consumo de combustível nessa etapa é consideravelmente inferior do que aquele consumido na etapa de refino.

Os valores de consumo total de combustíveis para cada uma das etapas de refino e redução é apresentado na seção 2.3 do estudo.

3.2.3 Emissões decorrentes do uso de energia elétrica

- Fase de redução (eletrólise)

Essa etapa é intensiva no consumo de energia elétrica. Dessa forma, dependendo da intensidade carbônica da matriz de energia elétrica ocorrem emissões de GEEs.

No caso brasileiro, grande parte da matriz elétrica é menos intensiva em emissões de GEE, o que reduz consideravelmente as emissões nessa etapa do processo, se comparado a outros países de matriz energética mais intensiva em emissões de GEEs.

Outro ponto importante a ser notado é que o setor de alumínio no Brasil possui geração própria de energia elétrica a partir de hidrelétricas. Como essas plantas de autogeração são interligadas ao SIN, sua contribuição para redução da intensidade de emissões de energia elétrica no setor se reflete no fator de emissão do SIN.

Dessa forma, a obrigatoriedade de interligação com o SIN impossibilita que se contabilize separadamente o quanto os investimentos do setor em autogeração, por meio de fontes geradoras de baixo carbono (hidrelétricas), contribui para a redução de suas próprias emissões decorrentes do uso de energia elétrica.

3.3 Tipos de gases de efeito estufa decorrentes de emissão direta

Os gases de efeito estufa emissão direta durante a produção de alumínio primário e alumina são:

- CO_2 (na combustão de combustíveis e no processo industrial na produção de alumínio primário)

- PFCS: C_2F_6 e CF_4 (no processo industrial do alumínio primário)

- CH_4 e N_2O (na combustão de combustíveis)

3.4 Emissões de GEE

Esta seção irá analisar as emissões absolutas de CO_2eq de GEEs cobertas no escopo do estudo (descrito na seção 1.1). A análise será realizada para cada uma das seguintes categorias de fontes de emissão: uso de energia térmica, uso de energia elétrica e processos industriais.

3.4.1 Metodologia e premissas adotadas para quantificação de emissões

Além da metodologia base para emissões de GEEs empregada nesta nota (descrita na seção 3.1), para calcular emissões de GEE nas etapas de redução e refino foram utilizadas as seguintes metodologias e premissas:

1. Emissões de processos industriais: As emissões foram retiradas do Segundo Inventário Relatório de Referência: Produção de Metais: Alumínio do Segundo Inventário Nacional do MCT (MCT & Abal, 2010), que englobam as emissões compreendidas no período 1990-2007. Para o caso brasileiro, somente ocorrem emissões de processos industriais na produção de alumínio primário (etapa de redução).

O Relatório de Referência do Segundo Inventário Nacional baseia sua metodologia em IPCC, 2006. Não foram estimadas emissões de anos mais recentes do que 2007, pois não havia dados públicos disponíveis e nem tempo hábil para coletar os dados necessários para cada planta que permitissem a estimação de emissões segundo a melhor metodologia de quantificação a tier 3 descrita no Protocolo GHG do Setor de Alumínio (IAI & WRI, 2006). Estimar as emissões por meio da metodologia simplificada tier 1 ou tier 2 (que utilizam fatores de emissão default) limitaria a análise, pois não seria possível averiguar os esforços para redução da intensidade de emissões do setor por se estar utilizando um fator de emissão default, ao mesmo tempo em que geraria uma série estatística de emissões de GEE de processos industriais gerada a partir de duas metodologias diferentes.

2. Emissões de energia térmica: Como as emissões do Setor Energia do Segundo Inventário Nacional não desagregam essas emissões por atividade produtiva, foi necessário calcular as emissões por queima de combustível utilizando a Ferramenta de Cálculo de Emissões do Programa Brasileiro GHG Protocol (GHG Brasil, 2012). O documento GHG, 2005 estabelece as diretrizes metodológicas para quantificação de emissões de combustão de fontes estacionárias e deve ser utilizado em conjunto à ferramenta.

3. Emissões de energia elétrica: Como as emissões do Setor Energia do Segundo Inventário Nacional não desagregam emissões por atividade produtiva, foi necessário calcular as emissões de energia elétrica utilizando a ferramenta de cálculo de emissões do Programa Brasileiro GHG Protocol (GHG Brasil, 2012). Os fatores de emissão do Sistema Interligado

Nacional (SIN) utilizados para calcular emissões são aqueles calculados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2012) para cada mês do ano. Nesta nota emprega-se a média anual desses fatores de emissão do SIN. Somente são quantificadas aqui as emissões de energia elétrica empregadas na etapa de redução que é responsável pela quase totalidade do consumo de energia elétrica.

3.4.2 Visão global das emissões totais no escopo desta nota

Antes de descrever as emissões de cada uma das fontes, apresenta-se aqui um comparativo com a participação de emissões de cada uma dessas categorias no total geral de emissões de GEE do escopo desse estudo[2].

É importante notar que a participação de emissões de energia térmica no total de emissões está subestimada diante da deficiência de dados de consumo de combustíveis. Somente estão apresentadas as emissões decorrentes da queima de óleo combustível, apesar de este não ser o único combustível utilizado no País.

Tabela 55: Participação e Emissões de Gases de Efeito Estufa por Categoria de Fonte de Emissão dm Relação ao Total de Emissões

Ano	2007
Energia térmica – na produção de alumina utilizada como insumo para produzir alumínio (apenas emissões da queima de óleo combustível)	21%
Energia térmica – produção de alumínio primário (apenas emissões da queima de óleo combustível)	3%
Energia elétrica - produção de alumínio primário	13%
Processos industriais – produção de alumínio primário	63%
Total	100%

Fonte: Baseada nos cálculos de emissões realizados nas seções 3.4.3, 3.4.4 e 3.4.5. A metodologia para quantificação de emissões é descrita na seção 3.4.1. O ano analisado é o de 2007, pois o último dado disponível de emissões de processos industriais é o de 2007.

3.4.3 Emissões de processos industriais

A tabela abaixo apresenta a evolução do valor absoluto de emissões da categoria de processos industriais por tipo de gás e total CO_2 equivalente.

2 O valor das contribuições é feito com base no ano de 2007, pois esse é o último ano em que há dados disponíveis de emissões de processos industriais.

3 Como apresentado mais adiante na seção 3.4.4.1, os dados disponíveis de consumo de combustível estão incompletos, dessa maneira a participação das emissões de energia térmica está consideravelmente subestimada por só se estar medindo a parcela que emitida a partir de óleo combustível.

Tabela 56: emissões absolutas de processos industriais na produção de alumínio por tipo de gás (mil t co2eq.) – 1990/2007

	1990	1993	1996	1999	2002	2005	2006	2007
CO2	1.574,1	1.946,4	1.981,0	2.078,7	2.176,2	2.472,4	2.646,1	2.739,4
CF4	1.964,3	2.176,5	1.934,3	1.308,3	878,0	805,3	792,0	763,4
C2F6	242,4	266,9	239,8	141,2	108,0	95,2	96,1	90,8
PFCs total	2.206,6	2.443,4	2.174,0	1.449,5	986,1	900,5	888,1	854,2
Total (mil t CO2eq)	3.780,7	4.389,8	4.155,0	3.528,2	3.162,2	3.372,9	3.534,3	3.593,6

Fonte: Elaboração própria com bases nos dados do Segundo Inventário Nacional (MCT & Abal, 2010).

A tendência histórica foi de redução de emissões totais CO_{2eq} de processos industriais para o setor de alumínio no período 1990-2007. A redução nas emissões de PFCs[4] (C_2F_6 e CF_4) é responsável pela redução nas emissões totais. Em 1990 as emissões totais desse tipo de gás somavam 2.206,6 mil t $CO_{2eq.}$ O valor recuou para 854,2 mil t CO_{2eq}.

Tabela 57: variação emissões de processos industriais por tecnologia e total (%) - 1990/2007

	Soderberg	Prebake	Total
CO_2	71,8%	75,7%	74,0%
CF_4	-55,6%	-66,0%	-61,1%
C_2F_6	-53,3%	-67,5%	-62,5%
Produção de alumínio	77,3%	81,4%	79,7%
Emissões totais CO_{2eq}			-4,9%

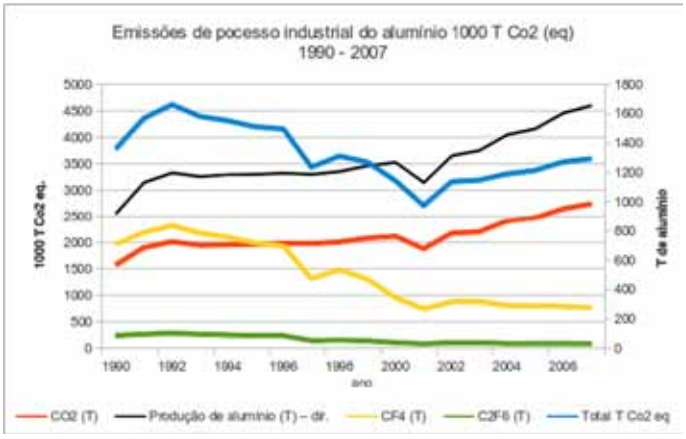
Fonte: Elaboração própria com base nos dados do segundo inventário nacional (MCT & Abal, 2010)

Por outro lado, as emissões de CO_2 aumentaram de 1.574,1 para 2.739,4 mil t CO_{2eq}, o que significa um aumento de 74%, enquanto a produção aumentou 79,7%.

As emissões totais de CO_2 equivalentes caíram ligeiramente de 3.780,7 mil t em 1990 para 3.593,6 em 2007. Essa redução representou uma redução de 4,9% das emissões totais apesar de a produção de alumínio ter apresentado crescimento 79,7% no mesmo período.

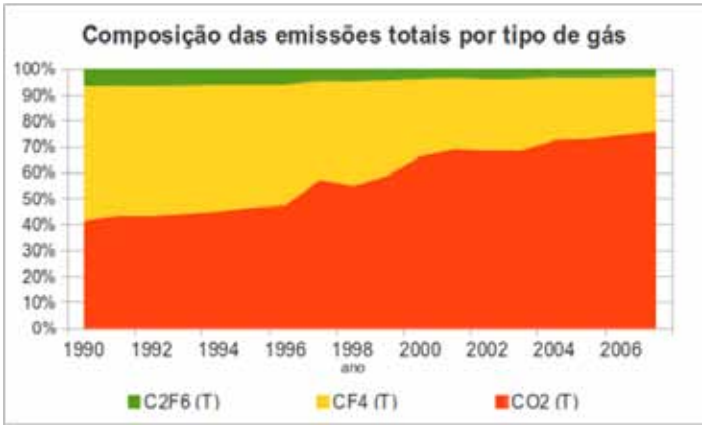
4 *O GWP utilizado para converter os PFCs para unidade de CO2eq é de 9.200 para C2F6 e 6.500 para CF_4.*

Gráfico 1: Emissões de processo industrial e produção de alumínio por tipo de gás



Fonte: elaboração própria com bases nos dados do segundo inventário nacional (MCT & Abal, 2010)

Gráfico 2: composição das emissões totais por tipo de gás – 1990/2007



Fonte: elaboração própria com base nos dados do segundo inventário nacional (MCT, 2010)

3.4.4 Emissões de energia térmica

A principal fonte de emissão decorrente de energia térmica no escopo de análise deste estudo é aquela que ocorre durante a produção de alumina (fase de refino). Uma pequena parcela de combustível é consumida na produção de alumínio primário.

3.4.4.1 Ressalva metodológica quanto à qualidade dos dados disponíveis de combustíveis

Uma importante ressalva metodológica é que o óleo combustível não é o único combustível utilizado na produção de alumínio primário e alumina no Brasil.A partir de reuniões com a Abal (Abal, 2012b), foi possível averiguar que algumas plantas utilizam outros combustíveis como o carvão e gás natural, por exemplo. Sabe-se também que há relatos de tentativas de se utilizar alguns tipos de biomassa como fonte de energia térmica. Apesar dessas confirmações, não foi possível obter nenhuma série histórica que indicasse quantitativamente o consumo desses outros combustíveis que não o óleo combustível, pois a Abal não coleta os dados de consumo de carvão nem gás nas refinarias. Dessa maneira, para estimar emissões dessa categoria de emissões de energia térmica considerou-se que a totalidade de combustível consumido na etapa de refino é óleo combustível. Reconhece-se que essa é uma imprecisão que subestima o valor de emissões totais dessa categoria, ao mesmo tempo em que distorce o valor da intensidade de emissões de energia térmica.

3.4.4.2 Emissões de energia térmica na produção de alumina, utilizada como insumo para produção de alumínio no Brasil

Emissões contempladas nesta seção

Nesta seção são calculadas apenas emissões associadas à produção de alumina que é utilizada como insumo para fazer alumínio primário (linha "Usos metálicos" da tabela a seguir). É importante notar que não se está calculando a totalidade das emissões associadas à produção de alumina do País, visto que uma quantidade considerável da alumina produzida é exportada e não utilizada como insumo pela indústria nacional de alumínio primário. Optou-se por não calcular as emissões da produção total por se enxergar que essas estão fora do escopo desta nota, que tem seu foco na produção de alumínio.

Apenas para não prejudicar uma análise mais completa, as emissões ocorrendo na produção total de alumina no País (inclusive naquela parcela considerável que é exportada) foram também estimadas e estão disponíveis no Anexo 1.

Tabela 58: suprimento total de alumina

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Suprimento	5.134,5	5.226,6	6.807,8	7.132,6	7.904,6	8.654,0	9.479,8	10.195,5
Produção	5.126,5	5.191,1	6.735,0	7.077,6	7.822,3	8.617,9	9.433,4	10.182,2
Importações	8,0	35,5	72,8	55,0	82,3	36,1	46,4	13,3
Consumo doméstico	3.003,6	3.019,5	3.234,8	3.339,6	3.374,0	2.970,3	3.102,2	2.912,7

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
- Usos metálicos	2.820,4	2.886,1	3.091,7	3.183,7	3.205,9	2.875,7	2.954,4	2.778,7
- Outros usos	183,2	133,4	143,1	155,9	168,1	94,6	147,8	134,0
Exportações	1.921,4	2.327,1	3.380,6	3.837,6	4.559,9	5.519,5	6.419,6	7.104,7

Fonte: Tabela fornecida pela Abal. Dados de produção provenientes de Abal e dados de importação e exportação provenientes do Siscomex- Sistema Integrado de Comércio Exterior - Secex/MDIC

Metodologia utilizada para estimar o óleo combustível consumido

Para estimar o consumo de óleo combustível para produzir a alumina utilizada como insumo, foi utilizado o consumo específico de óleo (tonelada de óleo combustível utilizado para produzir uma tonelada de alumina) fornecido pela Abal e retratado na tabela a seguir.

Tabela 59: cálculo da quantidade consumida de óleo combustível para produzir alumina utilizada como insumo

	Consumo específico de óleo (tonelada de óleo combustível/tonelada de alumina)	Alumina utilizada como insumo (t)	Óleo combustível consumido para produzir alumina utilizada como insumo(t)
1998	0,13293	2.368.300	314.813
1999	0,15559	2.410.700	375.071
2000	0,16334	2.469.900	403.437
2001	0,16419	2.119.700	348.034
2002	0,15656	2.522.000	394.843
2003	0,14243	2.648.800	377.276
2004	0,12753	2.820.400	359.695
2005	0,12650	2.886.100	365.106
2006	0,13228	3.091.700	408.967
2007	0,13479	3.183.700	429.136
2008	0,11420	3.205.900	366.111
2009	0,11089	2.875.700	318.873
2010	0,09937	2.954.400	293.580
2011	0,08898	2.778.700	247.245

Fonte: Dados de consumo específico de óleo fornecido pela Abal, o valor da terceira coluna é calculado pelo produto do valor da primeira coluna pelo valor da segunda coluna. As ressalvas metodológicas feitas no início da seção 3.4.4.1 são de extrema importância e devem ser consideradas para se analisar os dados aqui apresentados.

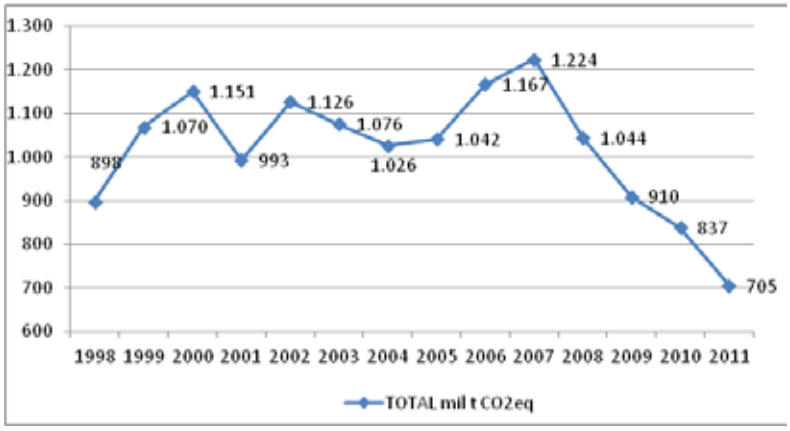
Análise das emissões por queima de óleo combustível

As emissões absolutas de GEEs decorrentes da queima de óleo combustível eram 898 mil t CO_2eq em 1998 e passaram para 837 mil t CO_2eq em 2010, o que representa uma queda

absoluta no período 1990-2010. Essa queda é um reflexo da substituição do óleo combustível por carvão mineral e gás natural.

Como já explicitado, não existem dados referentes ao consumo desses outros combustíveis, portanto não é possível estimar a totalidade das emissões de energia térmica do setor.

Gráfico 3: emissões totais de co_{2eq} provenientes da queima de óleo combustível para produzir a alumina que é utilizada com insumo. 1998 – 2011



Fonte: Cálculo próprio com base em dados de consumo de óleo combustível calculados na tabela acima e metodologia descrita na seção 3.4.1. As ressalvas metodológicas feitas no início da seção 3.4.4.1 são de extrema importância e devem ser consideradas para se analisar os dados aqui apresentados.

3.4.4.3 Emissões de energia térmica na produção de alumínio primário

Ressalva metodológica quanto à qualidade dos dados disponíveis de combustíveis

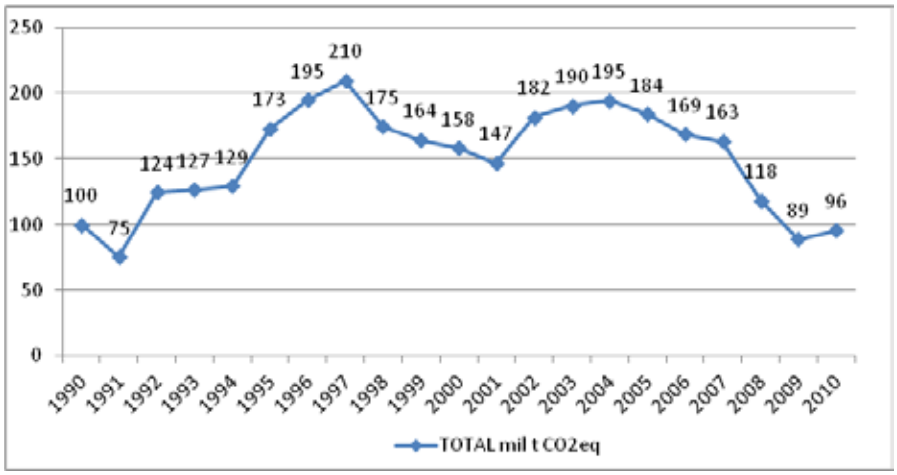
Para essa seção, devem ser consideradas as ressalvas metodológicas apontadas na seção 3.4.4.1.

Cálculo das emissões de energia térmica na produção de alumínio primário

As emissões de energia térmica na redução são consideravelmente inferiores às emissões dessa categoria na etapa de refinaria. O gráfico a seguir apresenta os dados na unidade de mil t de CO_{2eq}. Após o gráfico uma tabela apresenta os dados ano a ano a partir de 2000.

As emissões apresentadas correspondem apenas aquelas ocorridas por uso de óleo combustível. A queda absoluta é devida à migração para carvão mineral e gás natural e não representa queda real nas emissões de energia térmica do setor.

Gráfico 4: emissões de energia térmica por queima de óleo combustível na produção de alumínio primário no período 1990 - 2010



Fonte: cálculo próprio com base em dados de consumo de óleo combustível na produção de alumínio primário fornecidos pela abal e metodologia descrita na seção 3.4.1. as ressalvas metodológicas feitas no início da seção 3.4.4.2 são de extrema importância e devem ser consideradas para se analisar os dados aqui apresentados.

Tabela 60: emissões de energia térmica por queima de óleo combustível na produção de alumínio primário no período 2000- 2010

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
CO2	158	146	181	190	194	184	168	163	118	89	95
CH4	0,128	0,119	0,147	0,155	0,158	0,149	0,137	0,133	0,096	0,072	0,078
N2O	0,379	0,352	0,435	0,456	0,466	0,441	0,405	0,391	0,283	0,213	0,229
TOTAL mil t CO2eq	158	147	182	190	195	184	169	163	118	89	96

Fonte: Cálculo próprio com base em dados de consumo de óleo combustível na produção de alumínio primário fornecidos pela Abal e metodologia descrita na seção 3.4.1.

3.4.5 Emissões de energia elétrica na redução

As emissões de energia elétrica do setor oscilam em função da grande variação ano a ano dos fatores de emissão do sistema interligado nacional (SIN). O período de análise também está limitado à disponibilidade de dados de fatores de emissão do SIN que somente são calculados a partir do ano de 2006. Diante da grande variância dos fatores de emissão do SIN, os dados de emissões oscilam consideravelmente ano a ano. Como esses fatores estão fora do escopo de ação do setor (e fora do escopo desta nota técnica) é mais importante analisar a seção 3.5.3 que trata de indicadores de intensidade energética e carbônica que são variáveis compreendidas no escopo de ação do setor.

Tabela 61: emissões de energia elétrica t co_2 período 2006-2011

2006	2007	2008	2009	2010	2011
774.354	736.315	1.237.985	571.920	1.229.677	668.949

Fonte: Cálculo próprio com base em dados de consumo de energia elétrica da Abal e fatores de emissão do SIN (média anual) obtidos a partir do MCT, 2012 e dados de consumo de energia elétrica total anual para produção de alumínio primário enviados pela Abal.

A matriz elétrica brasileira possui uma participação de fontes renováveis em sua capacidade instalada total elevada se comparada a de outros países. Isso impacta positivamente as emissões de energia elétrica do setor de alumínio primário se comparadas a de outros países produtores de alumínio. Apesar da matriz elétrica nacional não estar contida no escopo desta nota Técnica (por estar englobada no âmbito do Plano Setorial de Energia da PNMC), é importante incluir aqui um comparativo da matriz elétrica nacional com a matriz de outros países produtores de alumínio apenas para evidenciar a vantagem comparativa do País em termos de emissões dessa categoria.

Tabela 62: comparativo do percentual de fontes renováveis na produção total de energia elétrica dos principais países produtores de alumínio primário

País	Percentual de oferta de energia elétrica renovável em 2010
Rússia	?
Canadá	60%
EUA	11%
Austrália	68%
Brasil	85%
Noruega	96%
Alemanha	17,1%
Islândia	100%
França	15%
Espanha	34%
China	?
Índia	9,9%
Mundo	20%

Fonte: Ren21, 2012

3.5 Indicadores de intensidade carbônica

3.5.1 Indicadores para emissões de processos industriais

Para processos industriais foi analisada a emissão por tipo de gás para cada tonelada de alumínio produzido.

Entre 1990 e 2007 houve uma redução na intensidade carbônica para todos os tipos de gases como apresentado na tabela abaixo.

Tabela 63: indicadores de intensidade carbônica de processos industriais

Ano	1990	1993	1996	1999	2002	2005	2006	2007
T CO_2 / t Al	1.709	1.659	1.655	1.666	1.655	1.651	1.649	1.655
Kg CF_4 /t Al	0,328	0,285	0,249	0,161	0,103	0,083	0,076	0,071
Kg C_2F_6 /t Al	0,0286	0,0247	0,0218	0,0123	0,0089	0,0069	0,0065	0,006

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do segundo inventário nacional (MCT & Abal, 2010)

A redução de intensidade foi mais acentuada para os PFCs do que para o CO_2 apresentando redução de 78,4% e 79% para CF_4 e C_2F_6 respectivamente. Esse fato sinaliza um êxito por parte da indústria na implantação de políticas de controle e redução de emissões de PFCs.

Tabela 64: variação fatores de emissão implícitos (%) - 1990/2007

	Soderberg	Prebake	Total
FE CO_2	-3,1%	-3,1%	-3,2%
FE CF_4	-75,1%	-81,2%	-78,4%
FE C_2F_6	-73,5%	-82,0%	-79,0%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do segundo inventário nacional (MCT & Abal, 2010)

3.5.2 Indicadores para emissões de energia térmica

3.5.2.1 Indicadores de energia térmica para produção de alumina

Indicador de intensidade de emissões disponível

O único dado de intensidade de emissões de GEE disponível publicamente é aquele calculado em ECO, 2011. O problema é que esse estudo não tem sua metodologia publicada e nem os dados utilizados. Somente uma versão resumida dos principais resultados do estudo é pública.

Nesse estudo está evidenciado que a etapa de produção de alumina possui uma intensidade de 1,12 toneladas de CO_{2eq} por tonelada de alumínio primário produzido. Esse indicador compreende emissões totais na refinaria. No mesmo estudo (ECO, 2011), chega-se a uma intensidade de 0,597 t CO_{2eq} / t alumina.

Indica dor de intensidade para óleo combustível

Além do dado de intensidade acima apresentado, foi calculado o indicador de intensidade no uso de óleo combustível, pois a única série estatística disponível de consumo de combustíveis no setor se refere ao óleo. A ressalva metodológica explicitada a seguir deve ser considerada quando analisadas quaisquer emissões de energia térmica no escopo desta nota.

Ressalva metodológica quanto à qualidade dos dados

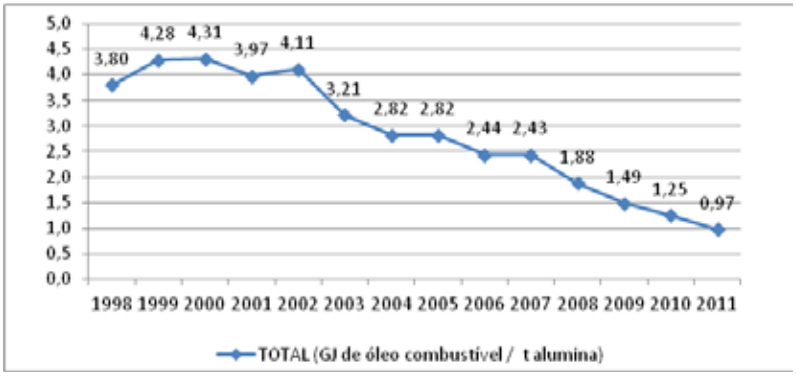
Para essa seção, devem ser consideradas as ressalvas metodológicas apontadas na seção 3.4.4.1.

Intensidade energética no uso de óleo combustível na produção de alumina

O primeiro indicador a ser analisado é quanto de energia térmica é utilizado para produzir determinada quantidade de alumina no País. Esse indicador nos permite obter uma noção da eficiência no uso de energia térmica na produção do setor. O indicador foi calculado com base no consumo específico de óleo combustível na produção de alumina, dados provenientes da Abal e apresentados na seção 3.4.4.2.

O indicador abaixo é apenas a intensidade de óleo combustível. Essa intensidade apresenta queda considerável, pois, como confirmado pela Abal, o setor tem substituído uso de óleo combustível por gás natural e carvão. Como a queda é bastaacentuada ano a ano, o gráfico confirma que a migração para outros combustíveis está ocorrendo de maneira acentuada: em 2000 eram utilizados cerca de quatro vezes mais óleo combustível para produzir uma tonelada de alumina do que em 2011.

Gráfico 5: intensidade no uso de energia térmica derivada da queima de óleo combustível por quantidade produzida de alumina. período 1998-2010



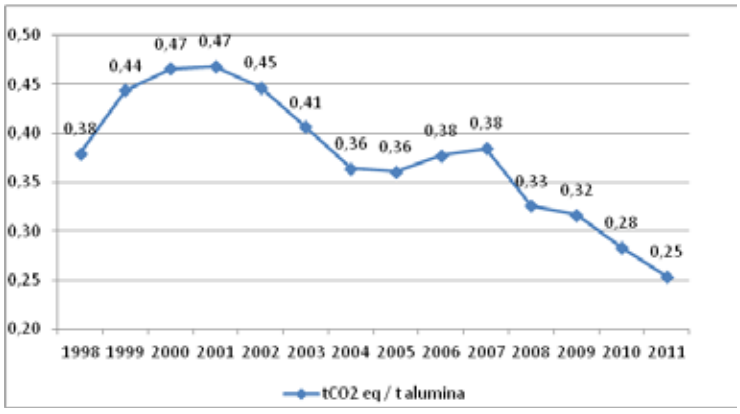
Fonte: Cálculo próprio com base nos dados de óleo combustível, consumido na produção de alumina utilizada como insumo, calculados na seção 3.4.4.2. As ressalvas metodológicas feitas no início da seção 3.4.4.2 são de extrema importância e devem ser consideradas para se analisar os dados aqui apresentados.

Intensidade de emissões de energia térmica no uso de óleo combustível na produção de alumina:

Como reflexo da queda no consumo de óleo combustível, a intensidade de emissões de GEE por queima de óleo combustível também caiu consideravelmente no período analisado.

O indicador foi calculado com base no consumo específico de óleo combustível na produção de alumina proveniente da Abal e apresentado na seção 3.4.4.2.

Gráfico 6: emissões GEES decorrentes da queima de óleo combustível por quantidade produzida de alumina utilizada como insumo para produção de alumínio. período 1998-2010



Fonte: Dados de produção de alumínio obtidos a partir de Abal, 2011. Emissões são calculadas na seção 3.4 desta nota. As ressalvas metodológicas feitas no início da seção 3.4.4.2 são de extrema importância e devem ser consideradas para se analisar os dados aqui apresentados.

3.5.2.2 Indicadores para a produção de alumínio primário

Para a etapa de redução é possível observar que, a partir do ano de 1997, houve melhora gradual (queda no valor) de intensidade energética e carbônica no período o que corrobora para a queda de emissões absolutas dessa categoria evidenciadas na seção 3.4.4.3 desse estudo.

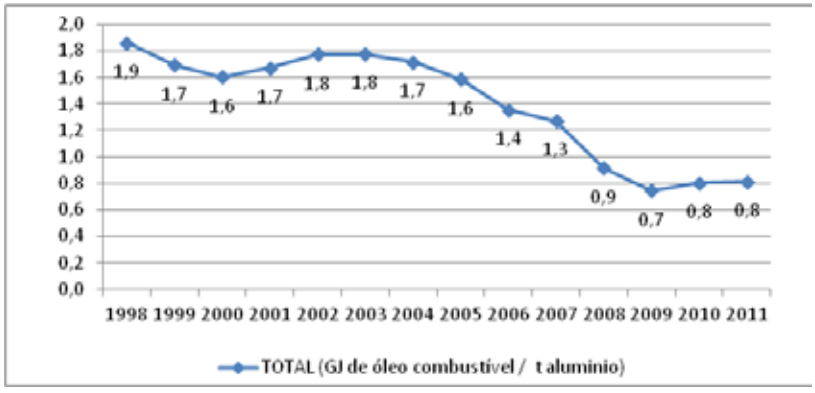
Ressalva metodológica quanto à qualidade dos dados

Para essa seção, devem ser consideradas as ressalvas metodológicas apontadas na seção 3.4.4.1.

Intensidade energética no uso de óleo combustível na produção de alumínio primário

A redução apresentada no gráfico abaixo é decorrência da substituição de óleo combustível por outros combustíveis fósseis e não ocorre, necessariamente, por conta de uma melhora de eficiência térmica.

Gráfico 7: evolução do consumo de óleo combustível por quantidade produzida de alumínio primário.

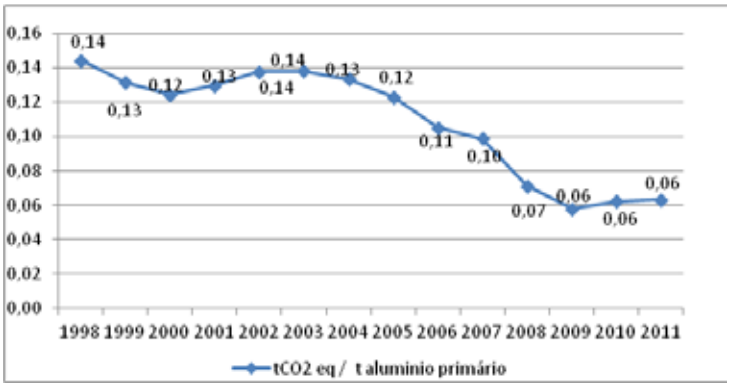


Fonte: Dados de produção de alumínio obtidos a partir de Abal, 2011. Emissões são calculadas na seção 3.4. As ressalvas metodológicas feitas no início da seção 3.4.4.2 são de extrema importância e devem ser consideradas para se analisar os dados aqui apresentados.

Intensidade de emissões no uso de óleo combustível na produção de alumínio primário

A redução apresentada no gráfico abaixo é decorrência da substituição de óleo combustível por outros combustíveis fósseis e não ocorre, necessariamente, por conta de uma melhora de eficiência carbônica.

Gráfico 8: evolução das emissões totais de energia térmica por quantidade produzida de alumínio (tco2eq. / mil t alumínio primário).

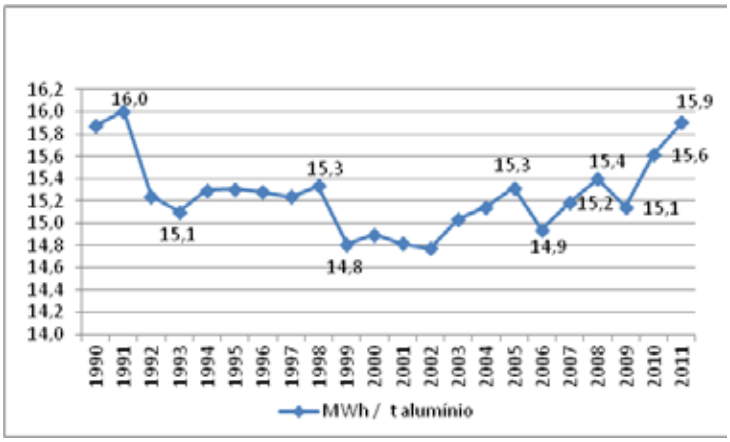


Fonte: Dados de produção de alumínio obtidos a partir de Abal, 2011. Emissões são calculadas na seção 3.4. As ressalvas metodológicas feitas no início da seção 3.4.4.2 são de extrema importância e devem ser consideradas para se analisar os dados aqui apresentados.

3.5.3 Indicadores para emissões de energia elétrica

Para energia elétrica foi analisada a intensidade no consumo de energia elétrica do setor. Observa-se que em 2011 eram necessários 15,9 MWh tonelada de alumínio, valor superior ao mínimo histórico atingido em 2002, que correspondeu a 14,77 MWh/ t alumínio produzido. É possível perceber uma tendência de alta da intensidade elétrica nos últimos três anos (período 2009 a 2011). A explicação para essa alta na intensidade não é clara, no sentido de que não há estudos ou fatores causais bem definidos que possam ser apontados com certeza. Fica a feita a recomendação de um estudo detalhado para investigar melhor a questão da intensidade no consumo elétrico nas plantas do setor.

Gráfico 9: Intensidade no consumo de energia elétrica por quantidade produzida de alumínio. Período 1990-2011



Fonte: Abal, 2011.

3.6 Comparativo internacional de intensidade de emissões no Brasil em relação ao mundo

3.6.1 Comparativo para intensidade de emissões globais

A tabela abaixo apresenta o posicionamento em termos de intensidade carbônica do Brasil em relação à média mundial. A última linha da tabela apresenta a intensidade carbônica total do País e a média mundial. É possível perceber que, em termos de emissões totais na cadeia, o País está mais bem posicionado do que a média mundial. Esse fator é dado principalmente pela matriz elétrica do País ser menos intensiva em carbono do que a média mundial como apresentado na seção 3.4.5.

É importante ressaltar que as metodologias utilizadas para calcular os valores constantes na tabela diferem entre si, pois são derivadas de duas fontes diferentes. A metodologia do cálculo de emissões não é a mesma do que aquela utilizada nesta nota técnica – este é o único estudo disponível sobre emissões totais por tonelada de alumínio na cadeia de valor do alumínio brasileira (Abal, 2012). A metodologia em Abal 2012 e os dados utilizados para o cálculo não são públicos e não puderam ser verificados.

Tabela 65: distribuição das emissões na cadeia produtiva de alumínio por etapa

	Etapa da cadeia	Brasil Participação nas emissões totais	Mundo Participação nas emissões totais
Escopo da nota	Alumínio primário	49%	17%
	Produção de alumina	26%	11%
	Energia elétrica (smelter)	12%	55%
	Ânodo	2%	2%
	Lingotamento	1%	1%
	Produtos semimanufaturados	3%	8,5%
	Mineração de bauxita	1%	0,2%
	Reciclagem	5%	1%
	Transportes	1%	5%
	TOTAL (CO2eq/ t. Alumínio)	4,25	9,7

Fonte: Dados de Brasil Abal, 2012, dados mundiais IAI, 2009. O cálculo de emissões é realizado pela Abal. A metodologia do cálculo de emissões não é a mesma do que aquela utilizada nesta nota Técnica. Esse é o único estudo disponível sobre emissões totais por tonelada de alumínio na cadeia de valor do alumínio brasileira.

3.6.2 Comparativo para intensidade de emissões de processos industriais

Buscando comparar as emissões derivadas de processo industrial nacionais com outros países produtores de alumínio, é possível obter uma ideia da posição do País em intensidade de emissões de processo industrial. Foi utilizada uma análise comparativa de emissões extraída do relatório da Carboclima, 2011. A lista de países analisados é: Rússia, Canada, EUA, Austrália, Noruega, Alemanha, Islândia, França, Espanha e Brasil. Por limitação de dados o referido estudo não pode analisar as intensidades de China e Índia, dois importantes players mundiais.

Dentre os 10 países analisados, o Brasil apresenta a 5° menor intensidade de emissões totais de GEE de processos industriais 2,17 t CO_2e/t Al. Para emissões de PFCs, o Brasil apresenta o 4° menor índice tanto para C_2F_6 e CF_4. Já para emissões de CO_2 de processos industriais o Brasil apresenta o 5° menor índice.

Tabela 66: comparativo de intensidade de emissões de processos industriais no Brasil e no mundo.

País	Produção de Al (mil t)	Participação	Emissões do processo (Gg CO e)	Emissões CO2 (Gg)	Intensidade de CO2 (t CO2/t Al)	Intensidade de CF4 (kg CF4/t Al)	Intensidade de C2F6 (kg C2F6/t Al)	Intensidade GEE (t CO2e/t Al)	Participação nas emissões totais, excluído LULUCF[1]
Rússia	3,955	10,4%	10.519	6.848,15	1,73	0,131	0,009	2,66	0,48%
Canadá	3,083	8,1%	7.282	5.097,44	1,65	0,098	0,007	2,36	0,97%
EUA	2,560	6,7%	8.087	4.250,84	1,66	0,192	0,027	3,16	0,11%
Austrália	1,954	5,1%	3.641	3.141,48	1,61	0,033	0,004	1,86	0,67%
Brasil	1,655	4,3%	3.594	2.739,42	1,65	0,071	0,006	2,17	0,39%
Noruega	1,363	3,6%	2.999	2.178,58	1,60	0,082	0,008	2,20	5,37%
Alemanha	554	1,5%	951	757,23	1,37	0,047	0,005	1,72	0,10%
Islândia	456	1,2%	961	679,76	1,49	0,080	0,010	2,11	21,32%
França	427	1,1%	1.135	710,07	1,66	0,114	0,028	2,66	0,21%
Espanha	408	1,1%	800	675,83	1,66	0,043	0,003	1,96	0,18%
China	12.588	33,1%							
Índia	1.237	3,2%							
Outros	7.846	20,6%							
Mundo	38.087	100,0%							

Fonte: Carboclima, 2011. Dados de emissão Brasileira são os mesmos apresentados na seção 3.4.3 que são provenientes do Segundo Inventário Nacional de emissões.

3.6.3 Comparativo para intensidade de emissões na produção e alumina

Como os dados de consumo de combustível estão imprecisos não foi possível comparar a intensidade de emissões do setor a partir de dados primários.

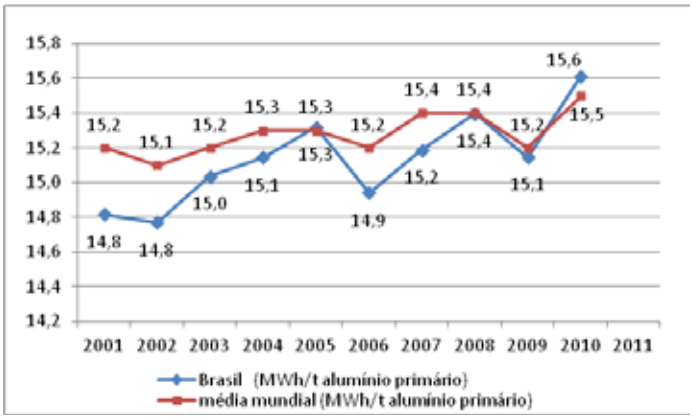
Apenas estão disponíveis estimativas de intensidade de emissões por alumínio que ocorrem na etapa de refino a partir de dois estudos diferentes, sendo um encomendado pela Abal, realizado com dados de 2008 (ECO, 2011), e outro proveniente da IAI (IAI, 2009). O Brasil apresentava um indicador de 1.120 kg CO_{2eq}/ t alumínio (ECO, 2011) e a média mundial era de 1.000 kg CO_{2eq}/ t alumínio. Vale resaltar que as metodologias utilizadas no estudo diferem não estão disponíveis publicamente e foram realizadas com dados de anos diferentes. Outra limitação é que os indicadores são em função da produção de alumínio e não de alumina.

Outra estimativa disponível de intensidade média mundial por produção de alumina está disponível para o ano 2000 em IAI, 2000. Nesse estudo a média mundial é de 0,789 t CO_{2eq}/t alumina. Segundo estudo (ECO, 2011), que não pode ter sua metodologia verificada, a intensidade é de 0,597 t CO_{2eq}/t alumina com dados de 2008. Outra limitação é que, por haver uma diferença de 8 anos entre os anos de realização de cada estudo, a intensidade média mundial pode ter melhorada no período e se encontrar em patamar inferior ao verificado de 0,789 t CO_{2eq}/t alumina no ano 2000.

3.6.4 Comparativo para intensidade no uso de energia elétrica

Existem dados que permitem comparar a intensidade elétrica do setor com a média mundial. A partir do gráfico a seguir, é possível perceber que, desde 2011, o Brasil sempre possuiu uma taxa MWh/t alumínio primário abaixo da média mundial. Dessa forma, o País sempre esteve mais bem posicionado que a média internacional nos últimos 20 anos. Apenas no ano de 2010 a intensidade no uso de energia elétrica brasileira aumentou em 0,1 MWh/t de alumínio primário.

Gráfico 10: comparativo de intensidade no consumo de energia elétrica: brasil e média mundial - 2001-2010



Fonte: Dados do Brasil provenientes de Abal, 2011 e dados da média mundial provenientes de IAI. O mesmo gráfico está disponível em Abal, 2011

4. Potencial de redução de emissões no setor

Esta seção começa por listar todas as maneiras e tecnologias levantadas na literatura, com especialistas e com o setor produtivo brasileiro que podem ser utilizadas para reduzir emissões de GEEs tanto na produção de alumina como na produção de alumínio primário.

Após a listagem dos diferentes potenciais de mitigação aplicáveis ao setor, esses são classificados em uma tabela de maneira que possam ser comparados, de forma que se possa apontar quais potenciais são mais interessantes para o caso brasileiro.

A não ser que explicitamente referenciados, os potenciais de mitigação apresentados nestsa seção foram recolhidos das seguintes referências bibliográficas: DOE, 2003; DOE, 2001; IAI & WRI, 2006; IAI, 2010; IAI, 2010b; IAI, 2009; IEA, 2012, EC, 2009 e IPCC, 2006.

4.1 Potenciais de mitigação relevantes para a produção de alumina e para a produção de alumínio primário

Os potenciais de mitigação foram classificados de acordo com a categoria de inventário de emissões por eles afetados.

4.1.1 Energia elétrica

Matriz elétrica com menor intensidade carbônica

O principal potencial de mitigação de emissões da categoria de energia elétrica é reduzir a intensidade carbônica da matriz elétrica utilizada na etapa da redução. Reduzir a intensidade carbônica da matriz nacional não está sob controle direto das empresas produtoras de alumínio primário, pelo fato de a energia ser retirada do SIN. As empresas do setor apenas têm

controle da energia elétrica autogerada, mas esta é sempre interligada ao SIN e, portanto, para efeitos de cálculo de emissão, investir em energia autogerada de baixo carbono apenas tem efeito para baixar o fator de emissão médio do SIN calculado pelo MCT.

Poderiam ser criados mecanismos regulatórios e institucionais que incentivassem a adoção de geração de energia elétrica, isolada do SIN, de baixa intensidade carbônica como PCHs, energia eólica e energia solar fotovoltaica, dentre outros.

Eficiência de energia elétrica na produção de alumínio primário

Aumentar a eficiência elétrica na produção de alumínio primário pode ter um impacto sob emissões da categoria de energia elétrica. O potencial de redução é proporcional ao teor de fontes geradoras de energia elétrica intensivas em carbono da matriz elétrica do País.

No mundo a eficiência elétrica varia entre 13 e 17 MWh/t alumínio primário. Em plantas piloto de última geração, é possível atingir 12,5 MWh/t. A geração futura de células eletrolíticas (ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento) objetiva reduzir a eficiência para 11 MWh/t. O limite mínimo teórico é de 6,3 MWh/t alumínio, sendo apenas um limite teórico que não pode hoje ser alcançado de maneira prática com a tecnologia atualmente existente. A eficiência elétrica está atrelada à tecnologia utilizada nas células eletrolíticas. Reduzir a eficiência elétrica de uma planta em operação pode apresentar custos elevados, e eventualmente pode significar uma parada na produção. A expansão da capacidade produtiva das plantas pode ser realizada de maneira a empregar uma tecnologia mais moderna do que aquela empregada na capacidade produtiva já instalada, gerando ganhos de eficiência de energia elétrica (IEA, 2012).

No caso brasileiro, a eficiência elétrica está descrita na seção 3.5.3 do estudo. A seção evidencia que o País possui uma eficiência elétrica muito próxima à média mundial, tendo apresentado ligeira elevação na média nos últimos anos. Como a matriz elétrica brasileira já possui baixa intensidade carbônica, a redução total de emissões que poderia advir de uma redução marginal na eficiência elétrica é baixa. Da ordem de 0,5% das emissões totais cobertas no escopo desta nota (cálculo realizado sem rigor metodológico[1]) .

Redução do efeito anódico

A redução do efeito anódico, por meio de tecnologias de monitoramento em tempo real, geram uma economia de energia elétrica que é desperdiçada no processo produtivo.

Os PFCs emitidos pela indústria de alumínio ocorrem ocasionalmente durante o processo de redução eletrolítica, em eventos chamados de efeitos anódicos. Os efeitos anódicos são causados quando uma quantidade insuficiente de alumina (Al2O3) está dissolvida no banho eletrolítico contido nos fornos de uma linha de redução de alumínio, implicando em maior

1 Cálculo realizado de maneira livre, sem um rigor metodológico maior, supõe uma redução na intensidade elétrica de 5% (número potencialmente elevado e não factível do ponto de vista prático, tecnológico e financeiro), aplicada ao valor percentual da participação da categoria energia elétrica no total de emissões do setor, que é de 13%.

resistência elétrica. Uma vez que o circuito tende a manter a corrente de processo constante, isso ocasiona também um aumento de voltagem, acima de determinada faixa de operação normal. Essa situação resulta na emissão de gases contendo o tetrafluoreto de metano ou perfluormetano (CF4) e o hexafluoreto de etano ou perfluoretano (C2F6). Esses efeitos são indesejados por também implicarem em perda de eficiência no processo e aumento de consumo de energia.

Tradicionalmente a indústria mede a sua ocorrência em termos de frequência e duração. A quantidade de PFCs emitidos por uma planta de redução de alumínio é razão direta da frequência e da duração dos efeitos anódicos.

No processo de redução de alumínio, existem algumas tecnologias e controles operacionais que contribuem positivamente para a redução de emissões atmosféricas, tais como:

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

Segundo a Abal, ao longo dos anos, a indústria brasileira vem investindo na modernização tecnológica dos aspectos acima, com a introdução ou aprimoramento de sistemas eletrônicos para medir, antecipar e suprimir a ocorrência dos efeitos anódicos. Também foram fundamentais a introdução e o reforço no cumprimento de práticas operacionais mais robustas, no intuito de manter a estabilidade do processo e possibilitar aos operadores agirem com maior rapidez para a supressão dos efeitos anódicos. A introdução de melhorias no desenho e formulação dos ânodos também aumentou a estabilidade do processo, reduzindo a ocorrência desses eventos e das emissões de PFCs (ABAL, 2012b).

Rotas tecnológicas alternativas

Existem pesquisas para desenvolvimento rotas tecnológicas alternativas ao processo de Hall-Héroult que consumiriam uma quantidade de energia elétrica inferior ao processo convencional reduzindo, portanto as emissões dessa categoria. Essas alternativas ainda são hipóteses teóricas ou em fase de pesquisa e prototipagem, longe de estarem viáveis em nível de mercado. Exemplos de rotas alternativas são: redução carbotérmica, tecnologia de célula drenada (Drained-Cell Technology), eletrólise multipolar, dentre outros (DOE, 2003 e WELCH, 1999). O desenvolvimento de algumas tecnologias está mais avançado do que outras, porém o horizonte temporal para viabilizá-las está na ordem de décadas no futuro.

Apesar de não serem alternativas de redução de emissão imediatas, os incentivos à pesquisa e desenvolvimento nessas áreas devem ser feitos desde agora para garantir que a tecnologia seja viável no futuro. Um potencial obstáculo ao uso dessas tecnologias são os ganhos financeiros que elas poderiam trazer – não é claro se essas tecnologias reduziriam o custo de produção do alumínio, portanto os incentivos financeiros para o setor investir em seu desenvolvimento podem não ser tão relevantes. Além disso, outros obstáculos estão ligados à infraestrutura para pesquisa e desenvolvimento no Brasil, o desenvolvimento de mercado de capital de risco no País, dentre outros.

4.1.2 Energia térmica

Reduzir a intensidade energética por alumina produzida

A grande maioria das emissões de GEEs da categoria energia térmica são provenientes da produção de alumina que emprega, em quase a totalidade dos casos estudados, combustíveis fósseis (como apresentado na seção 3.4.2).

Para reduzir a quantidade de energia utilizada nessa etapa algumas alternativas são recomendadas:

- Maquinário utilizado para calcinação de última geração: É possível obter redução de eficiência de até 30% trocando-se o calcinador por um de última geração. Calcinadores tidos como defasados são os chamados *rotary calciners,* os de última geração denominam-se *fluid bed/ flash calciners* (IAI, 2008). Não há um perfil tecnológico das tecnologias de calcinação utilizadas na produção nacional de alumina.

- Qualidade da bauxita: A bauxita de uso metalúrgico com teor superior a 40% de Al2O3, recuperáveis no processo Bayer, é rota universalmente utilizada para obtenção de alumina (óxido de alumínio), produto intermediário na produção do alumínio primário.

Esse potencial de mitigação depende de questões geográficas (as jazidas minerais apresentam qualidades de bauxita diferentes) e enfrenta potencialmente barreiras logísticas e tende a ser reduzido ao longo do tempo, com a exploração dos melhores depósitos.

- Novas tecnologias: Diferentes técnicas em diversos estágios de desenvolvimento e com variados custos de implantação e potencial de redução de mitigação de GEEs foram recolhidas na literatura com o objetivo de reduzir a intensidade energética na produção de alumina (DOE, 2001). A saber:

1. *Técnicas de redução de impurezas na bauxita.*
2. *Procedimentos físicos ou químicos para aceleração da precipitação.*
3. *Maior automação do processo principalmente na etapa de calcinação para aumentar a produtividade e eficiência energética nessa etapa.*
4. *Redução direta de bauxita em alumínio (rota tecnológica ainda não desenvolvida).*

No caso brasileiro, por faltarem dados públicos completos sobre o consumo total de combustíveis, não é possível estimar a intensidade real no uso de energia no setor com precisão e nem analisar como foi sua evolução ano a ano.

No âmbito internacional, existe uma meta voluntária do IAI na iniciativa "Aluminium for Future Generations", que objetiva reduzir em 10% o uso de energia por alumina produzida até 2020 em relação aos níveis de 2006 (IAI, 2010).

Uso de fontes alternativas de energia térmica na produção de alumina

Além de desenvolver técnicas de redução de intensidade energética na produção de alumina, a melhor maneira de reduzir emissões nessa etapa é utilizando fontes de energia térmica de menor intensidade carbônica. Dentre as ações disponíveis, apontam-se:

1. *Reaproveitamento do calor gerado na etapa de redução.*
2. *Uso de combustíveis alternativos como biomassa, resíduos de outros setores produtivos.*
3. *Uso de combustíveis fósseis menos intensivo em carbono como o gás natural.*

Todas as soluções acima requerem algum tipo de adaptação no processo de refino ou uso de alternativas à calcinação que sejam capazes de utilizar fontes alternativas de energia térmicas. Apesar de não se ter o custo exato dessas adaptações, sabe-se que outras indústrias com necessidade de calcinação já utilizam essas ações de mitigação, como é o caso da indústria do cimento, que já faz uso de biomassa e resíduos indústriais em seus fornos. É sabido também, a partir de conversas com o setor, que plantas nacionais já fizeram testes para utilizar biomassa (cavaco) e que algumas plantas já não utilizam mais óleo combustível e têm migrado para outros combustíveis. Porém não há dados disponíveis sobre quais combustíveis têm sido adotados nem sua quantidade.

A alteração do tipo de combustível utilizado está sujeita a outras barreiras que não a tecnológica. Uma delas é a oferta disponível do combustível na região onde a planta consumidora se localiza. Soma-se a essa condição os custos logísticos de viabilizar a adoção desses combustíveis.

Uso de combustíveis alternativos na produção de alumínio primário

Ainda que representando uma pequena parcela das emissões totais do escopo desta nota técnica (seção 3.2.1), seria possível reduzir o consumo de combustíveis fósseis utilizados na fase de redução. No caso brasileiro, o combustível utilizado nessa etapa é fóssil.

4.1.3 Processos industriais

Método empregado na etapa de redução: diferenças entre emissões geradas com o método Prebake e Soderberg

A literatura aponta a tecnologia Prebake como a mais carbono eficiente e também a mais produtiva. Deve-se compreender que não é viável economicamente transformar uma planta de produção de alumínio primário Soderberg para uma planta Prebake, pois isso demandaria a construção de uma nova planta. Dessa forma, é preciso encarar a migração de rota tecnológica como um potencial de mitigação viável apenas para novas plantas.

Como apresentado no Perfil Técnico desse estudo (seção 1.2), cerca de 56% da produção nacional de alumínio primário utiliza o método Prebake e os outros 44% utilizam o método Soderberg (Abal, 2011).

Técnicas de redução e monitoramento do efeito anódico

O efeito anódico é responsável por emissões de PFCs que contribuíam com cerca de 14,9% das emissões totais em 2007 (seção 3.2.1). O desenvolvimento e implantação de melhores tecnologias de monitoramento contínuo ou semicontínuo desse fenômeno podem gerar redução de emissões de processos. Conforme apresentado na seção 3.2.1 desse estudo, o Brasil reduziu consideravelmente suas emissões de PFCs nos últimos anos. Fica feita a recomendação de um estudo que consiga averiguar os principais gargalos e obstáculos para aumentar ainda mais a redução de efeitos anódicos, PFCs nas plantas nacionais.

Rotas tecnológicas alternativas

Algumas das rotas tecnológicas alternativas já apresentadas acima[2] podem contribuir para menor emissão de GEEs de processo industrial como CO2, PFCs, etc. Uma tecnologia promissora nessa área são os avanços em células alternativas por meio de combinação de ânodos inertes e cátodos úmidos drenados.

Não foram encontradas evidências de pesquisa nessa rotas alternativas no Brasil.

4.1.4 Outros potenciais de mitigação

Reciclagem de alumínio

O alumínio possui alto potencial de reciclagem. Reciclar alumínio reduz a necessidade de se produzir alumínio primário para produzir produtos semimanufaturados de alumínio. Produzir novas quantidades de alumínio é talvez a ação que apresente maior potencial de redução de emissões, visto que a necessidade de energia elétrica é muito menor na reciclagem (cerca de 5% da necessidade de energia para a produção de alumínio não reciclado). Além disso, todas as emissões associadas com as etapas que antecedem a produção de alumínio primário não ocorrem (mineração de bauxita e produção de alumina).

2 Ver item acima sobre potenciais de mitigação de energia elétrica: "rotas tecnológicas alternativas" para uma melhor descrição dessas rotas.

A tabela a seguir apresenta o posicionamento do Brasil em relação em relação aos outros países produtores de alumínio, medida pela razão sucata de alumínio recuperada / consumo doméstico de alumínio. A tabela evidencia que o País é o quarto mais bem posicionado no mundo, ficando atrás de Itália, Espanha e Estados Unidos.

Tabela 67: relação entre sucata recuperada e o consumo doméstico. ano de 2010

Reino Unido	46,4%
Itália	43,1%
Espanha	42,2%
Estados Unidos	38,8%
Brasil	36,4%
Coreia do Sul	35,6%
Alemanha	26,2%
Japão	24,7%
Canadá	24,5%
França	22,4%
China	21,1%
Média mundial	28,3%

Fonte: The Aluminium Association. Cálculos: Abal. Adaptação de gráfico apresentado em Abal, 2011.

Simbiose industrial

Hoje, plantas produtoras de alumínio primário direcionam parte do material residual do ânodo utilizado na etapa da eletrólise para a indústria de cimento para ser utilizado para coprocessamento nesse setor. Esse material possui carbono em sua composição e é utilizado como fonte de energia térmica para os fornos do cimento. Redirecionar esse resíduo para queima pode reduzir emissão, se as emissões que ocorreriam na disposição convencional do resíduo em aterro fossem superiores às emissões que ocorrem pela queima de combustível. Devem ser contabilizadas as emissões por combustão móvel que ocorrem com o transporte do material residual. Outra vantagem dessa prática é que ela propicia o reúso de resíduos, tido como uma boa prática de tratamento.

No Brasil a prática já existe entre outros setores industriais como o cimento e a siderurgia. Porém não há nenhum tipo de incentivo para a prática. E faltam estudos para calcular se a redução líquida de emissões por meio dessa prática.

4.2 Análise dos potenciais de mitigação para o caso brasileiro

Os potenciais levantados nessa seção foram classificados de maneira a poder analisar qualitativamente quais podem ser aplicados ao caso brasileiro e ter sua adoção incentivada por meio de políticas públicas no Brasil.

4.2.1 Metodologia utilizada para análise dos potenciais levantados

É importante ressaltar que sem uma metodologia quantitativa com foco especial na mensuração de custos marginais de abatimento para cada um dos potenciais de mitigação listados, a análise dos potenciais "ideais" para o caso brasileiro fica incompleta. Uma análise adequada e detalhada o suficiente dos custos marginais de abatimento demandaria um esforço de recolhimento de dados no nível de detalhe de cada planta que não se mostrou viável por motivos de restrição de tempo, de recursos e de dificuldades para obtenção de dados em função do sigilo com os quais esses tipos são tratados.

Feita esta ressalva, já fica explicitado como recomendação de estudos futuros a elaboração de um estudo de curvas de custo marginal de abatimento para o setor que é crucial para trazer a tona questões de ordem econômica.

Cada potencial foi classificado segundo os seguintes critérios:

1. Potencial de redução: O quanto a medida em questão pode efetivamente reduzir as emissões cobertas no escopo desta nota. Os valores possíveis podem ser: baixo, médio, alto e muito alto.

Em termos quantitativos, o potencial de redução (PR) pode ser medido segundo a seguinte fórmula:

PR = A x E,

onde A é a abrangência que é a contribuição para o total de emissões da fonte de emissão na qual a medida de mitigação atua, E é a eficiência da medida de mitigação que é o percentual das emissões totais provenientes da fonte de emissão na qual a medida de mitigação incide, o que pode ser efetivamente reduzido após a implantação do potencial em questão.

Por exemplo: para a medida de mitigação "Técnicas de Redução e monitoramento do efeito anódico" (primeira linha da tabela abaixo). Supondo uma eficácia (E) seja de 80% e averiguando que emissões de PFCs contribuíam em 2007 com 14,9% do total de emissões, o potencial de redução será de 14,9 X 0,8 = 11,92%,

Nesse estudo não foi quantificada a eficácia de cada potencial, pois não foi encontrada na literatura disponível referência para esses valores para o caso brasileiro e não houve tempo hábil para realizar medições desse tipo nas plantas de alumínio primário brasileiras.

Dessa maneira optou-se por listar os potenciais apenas de maneira qualitativa com base em um julgamento da equipe, a partir do perfil de emissão do setor, sempre mantendo como diretriz básica da lógica empregada a relação PR =A x E.

Fica reconhecida a limitação da falta de quantificação explícita, esta seria idealmente tratada em um estudo de curvas de custo marginal de abatimento para o setor.

2. Disseminação no Brasil: O quanto determinada ação de mitigação já é adotada no Brasil. Pode ser nula, baixa, média ou alta.

3. Barreiras: Lista as principais barreiras que impediriam a adoção do potencial de

mitigação em questão como: barreiras regulatórias, barreiras logísticas, etc.

4. Atores chave: lista os principais atores relacionados a implantação do potencial de mitigação.

5. Necessidade de P&D: A necessidade de pesquisa e desenvolvimento para viabilizar a mercado ou aprimorar a eficácia da ação de mitigação.

6. Fontes de financiamento: Lista as potenciais fontes de financiamento para investir na implantação ou desenvolvimento da ação de mitigação.

7. Investimento necessário: Como não foram quantificados custos de investimento buscou-se apenas apresentar o quanto determinada ação de mitigação demanda de investimento em relação às outras opções de mitigação. Pode ser baixo, médio, alto ou muito alto.

Tabela 68: comparação dos potenciais de mitigação levantados.

Ação de redução	Potencial de redução	Disseminação no Brasil	Barreiras	Atores chave	Necessidade de P&D	Fontes de Financiamento	Investimento Necessário
Técnicas de redução e monitoramento do efeito anódico	Médio	Alta (esforços consideráveis para reduzir o efeito anódico podem ser notados nos dados de emissões de PFCs no período 1990-2007)	A indústria nacional já realiza medidas que reduziram emissões de PFCs, o que leva a supor que há esforços na redução do efeito anódico. Para novas plantas, utilizar processos de última geração no controle do efeito anódico será a chave para continuar reduzindo as emissões de PFCs já atingidas.	Indústria	Baixo	Bancos, recursos do produtor, BNDES	médio
Rotas tecnológicas alternativas na produção de alumínio primário	Muito alto	Nula (não foram encontrados registros de empresas ou academia brasileiras envolvidas em pesquisa nessa área)	O desenvolvimento dessas rotas tecnológicas ainda é incipiente e se encontra em estágio de pesquisa básica. A escassa quantidade de literatura a respeito estima prazos mínimos da ordem de décadas no futuro para viabilizar essas tecnologias para o mercado.	Academia, incubadoras, indústria de capital de risco, órgãos de incentive a pesquisa e inovação	Muito Alto	Incentivo a pesquisa de base, incubadoras, financiamento para inovação, indústria de *seed* capital	Muito Alto

Qualidade da bauxita	Baixo	Alto (qualidade da bauxita no País já é relativamente elevada)	A disponibilidade da bauxita de alta qualidade é limitada a fatores geográficos e portanto dependente de questões de logística.	Indústria, entidades envolvidas na infraestrutura de transporte do País	Nulo	Bancos, recursos do produtor, BNDES	médio
Tecnologias alternativas na produção de alumina	Muito Alto	Nula (não foram encontrados registros de empresas ou academia brasileiras envolvidas em pesquisa nessa área)	O desenvolvimento dessas rotas tecnológicas ainda é incipiente. A reduzida quantidade de literatura a respeito estima prazos mínimos de décadas no futuro para viabilizar essas tecnologias a Mercado		Muito Alto	Incentivo a pesquisa de base, incubadoras, financiamento para inovação, indústria de seed capital	Muito alto
Fontes alternativas de energia térmica	Alto	Nula (há registros em conversas com Abal de intenção utilizar biomassa e carvão vegetal, porém não há dados que quantifiquem essas práticas.)	Pode ser necessário adaptar fornos e outros maquinários para a utilização de combustíveis alternativos (como resíduos e biomassa). Pode não haver quantidade suficiente do combustível alternativo a ser ofertado. Obstáculos logísticos e regulatórios também são um entrave potencial. Deve-se também atentar para a relação redução de emissão/ poder calorífico desses combustíveis/ emissões decorrentes de seu transporte até a planta.	Entidades que sejam potenciais fontes de combustíveis alternativos (outros setores industriais, produtores de bens agrícolas, etc.). A própria indústria. Agências / entidades regulatórias (principalmente quando se trata de uso de resíduos para queima)	Baixo	Bancos, recursos do produtor, BNDES	Alto

Eficiência no uso de energia térmica na produção de alumina	Alto	? (faltam dados de consumo de combustível)	Não há um perfil tecnológico das plantas produtoras de alumina que permita averiguar quais tipos de calcinadores e boilers são utilizados nem se há potencial de melhoria de eficiência térmica nesse maquinário.				
Tipo de processo utilizado na produção de alumínio primário	Alto	Médio	Somente é viável alterar a rota tecnológica para uma mais moderna para novas plantas (projetos *greenfield*). Dessa maneira essa recomendação não pode ser encarada como viável para o parque industrial atual.	A própria indústria.	Baixo (depende do combustível)	Recursos do produtor	Baixo/médio (depende da disponibilidade do tipo de combustível)
Reciclagem de alumínio	Médio/alto	Média/Alto	Há barreiras logísticas e também regulatórias. Mapeamento de fontes não aproveitadas de sucata de alumínio. Há falta de estudos e políticas para contornar tais barreiras.	Cooperativas, catadores, consumidores, empresas ligadas à coleta de resíduos, Empresas que vendem produtos contendo	baixo	Bancos, recursos do produtor, BNDES	Baixo/médio

Geração isolada de energia renovável	Médio	Média/alta	Há barreiras regulatórias para o uso de energia elétrica própria que não esteja interligada ao SIN. Projetos de geração própria podem não apresentar a escala de projetos nacionais, portanto serem menos custo-eficientes.	A própria indústria. Agentes reguladores.	baixo		Médio/Alto
Outras medidas de eficiência elétrica na fase redução	Baixo	Média/alta	A melhora de eficiência elétrica na fase de redução está sujeita a uma limitação teórica. O custo marginal de reduzir oconsumo de energia elétrica por unidade produzida pode já ser elevado demais com a tecnologia atual.				

Fonte: Elaboração própria com base nas ações de mitigação levantadas na seção 4.

5. Cenário de baixo carbono

5 Cenário de baixo carbono

5.1 Barreiras práticas a aplicação dos cenários em situações reais

Os cenários apresentados nesta seção estão sujeitos a barreiras práticas que podem inviabilizar sua aplicação em casos do mundo real. A presente seção deve ser analisada sempre atentando para os potenciais obstáculos que limitariam essa viabilidade por questões referentes a custo elevado, escassez de fontes de financiamento, barreiras regulatórias, barreiras logísticas, dentre outras barreiras potenciais.

5.2 Introdução aos cenários de baixo carbono

Esta seção traça cenários de emissões de maneira a quantificar as emissões projetadas de GEEs no setor e quantificar o potencial de redução que pode ser atingido pela adoção das medidas de mitigação apresentadas na seção anterior do estudo.

Foram realizados dois exercícios para projetar emissões de GEEs em diferentes cenários. O primeiro exercício investiga como estarão as emissões futuras em relação às emissões máximas permitidas pela meta do Plano Indústria.

O segundo exercício tem por objetivo quantificar os potenciais de redução que podem ser atingidos a partir da adoção de combustíveis alternativos para a etapa de produção de alumina. Optou-se por analisar apenas esse potencial de mitigação ("uso de combustíveis alternativos") diante da falta de dados detalhados sobre o perfil tecnológico das plantas do setor, que são necessários para conseguir discernir entre os potenciais de mitigação já adotados no País e aqueles que ainda não são. Apenas para o caso dos combustíveis, os dados permitem criar

um cenário business as usual (onde o setor continua utilizando o mix de óleo combustível que utiliza atualmente) e cenários de baixo carbono. Mesmo sabendo da limitação advinda do fato de se estar apenas analisando um dos potenciais de mitigação apresentados na seção 4 desse estudo, é importante lembrar que as emissões por uso de energia térmica têm uma representatividade considerável com relação ao total de emissões do escopo da nota, portanto a relevância da análise é confirmada.

Para ambos os exercícios realizados se está adotando dois cenários possíveis para a produção de alumínio primário e consumo de alumina como insumo: um cenário pessimista e outro otimista como descrito na tabela abaixo. O cenário pessimista supõe o fechamento gradual de algumas plantas produtoras, em linha com a recente perda de competitividade internacional de custos do alumínio primário nacional. O cenário otimista supõe uma expansão gradual da produção no País. Os valores para a produção de alumínio primário estão coerentes com os valores dos cenários disponíveis em Abal, 2011b.

Tabela 69: projeções da produção de alumínio primário e consumo de alumina como insumo

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Cenário Pessimista															
Alumínio Primário (t)	1.440.400	900.000	900.000	740.000	740.000	660.000	660.000	660.000	660.000	660.000	660.000	660.000	660.000	660.000	660.000
Alumina Insumo AL. Primário (t)	2.767.097	1.728.955	1.728.955	1.421.586	1.421.586	1.267.901	1.267.901	1.267.901	1.267.901	1.267.901	1.267.901	1.267.901	1.267.901	1.267.901	1.267.901
Cenário Otimista															
Alumínio Primário (t)	1.440.400	1.503.600	1.553.600	1.603.600	1.653.600	1.703.600	1.753.600	2.403.600	2.403.600	2.403.600	2.403.600	2.346.260	2.463.573	2.586.751	2.716.089
Alumina Insumo AL. Primário (t)	2.767.097	2.888.508	2.984.561	3.080.614	3.176.668	3.272.721	3.368.774	4.617.464	4.617.464	4.617.464	4.617.464	4.507.310	4.732.675	4.969.309	5.217.774

Fonte: Elaboração própria. As premissas de crescimento na produção de alumínio primário no cenário pessimista foi retirada de Abal, 2011b. As premissas para o cenário otimista foram de elaboração própria e estão em linha com cenários constantes em Abal, 2011b.

Ressalva metodológica quanto à qualidade dos dados disponíveis de combustíveis

Para essa seção, devem ser consideradas as ressalvas metodológicas apontadas na seção 3.4.4.1.

Limitações metodológicas dos cenários

Os cenários de emissões não contemplam questões de custo relacionado a adotar determinado tipo de opção de mitigação. Um estudo abrangente e robusto o suficiente demandaria acesso a dados sigilosos de perfil tecnológico e custo por planta no País e não foi contemplado nesse estudo. Fica feita a recomendação para a elaboração de estudos desse tipo em oportunidades futuras.

5.3 Exercício nº1: Comparação das emissões do setor em relação à meta de emissões estipulada no Plano Indústria da PNMC

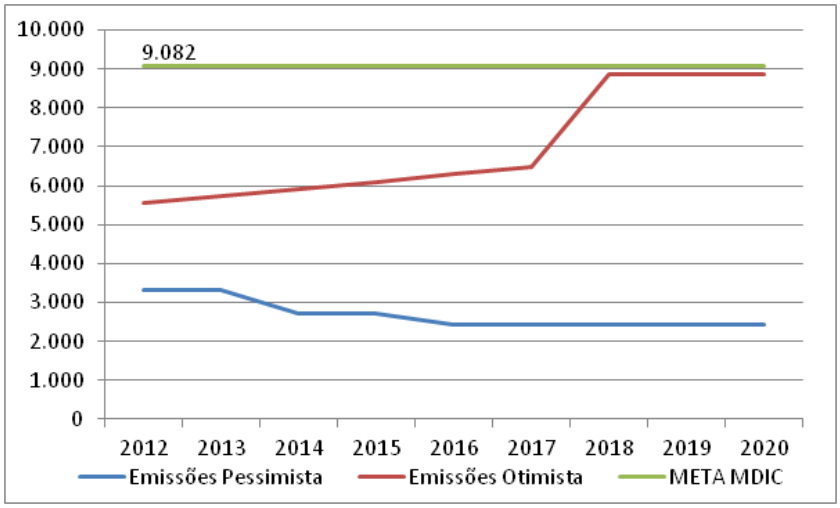
O gráfico abaixo tenta comparar a meta de emissões máximas em 2020. A meta de emissões absolutas e é calculada da seguinte maneira:

1. Supor uma taxa de crescimento de 5% para as emissões totais ano a ano a partir de 2005.

2. Reduzir o valor obtido no item 1 em 5% apenas para o ano de 2020

A meta de emissões absolutas para o ano de 2020 no setor seria de 9.082 mil toneladas de CO2eq. Para calcular esse valor foram utilizados apenas dados de consumo de óleo combustível (e não de outros tipos de combustível, por não haver dado sobre seu consumo no setor).

Gráfico 11: comparação das e missões nos cenários otimista e pessimista com a meta do plano indústria da PNMC (MIL T CO2EQ)



Fonte: Elaboração própria.

5.4 Exercício nº2: Cenários de redução de emissão por uso de energia térmica na produção e alumina

Esse cenário tem por objetivo investigar potenciais de mitigação que possam ser aplicados para reduzir a intensidade de emissões por uso de energia térmica que ocorre na produção de alumina utilizada como insumo para produzir alumínio primário no País.

5.4.1 Metodologia e premissas

Ressalva metodológica quanto à qualidade dos dados disponíveis de combustíveis

Para essa seção, devem ser consideradas as ressalvas metodológicas apontadas na seção 3.4.4.1.

Apresentação da metodologia:

Um dos grandes geradores de emissões são as de energia térmica decorrentes da queima de óleo combustível que ocorre na etapa de produção da alumina (seção 3.4.2).

Objetivando a redução progressiva da emissão de CO2eq originada a partir da queima dos combustíveis fósseis, na etapa de produção da alumina, foram realizados estudos de substituição gradativa do óleo combustível para cada um dos seguintes combustíveis:

1. *Gás Natural (GN)*
2. *Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)*
3. *Carvão vegetal (CV)*

Cada um destes combustíveis teve sua projeção de redução potencial de CO2 analisada conforme dois cenários econômicos traçados para o setor de alumínio, assim denominados: pessimista e otimista.

Cientes da necessidade tecnológica de se adaptar o maquinário para viabilizar o uso de combustíveis diferentes, buscou-se modelar uma possível viabilidade operacional, tanto para o caso da substituição por carvão vegetal. Para tanto o valor máximo da substituição gradativa foi de 50%. Já para o caso de GN e GLP, o valor máximo da substituição foi de 50%, mas a preocupação, para tal escolha, é relacionada a questão de segurança energética.

O valor da relação quantidade de alumina consumida para a produção de uma tonelada de alumínio primário foi determinada pelo cálculo entre entres dois parâmetros para os anos de 1990 a 2010[1], obtendo o valor de 1,92. Este é o mesmo valor fornecido também pelas literaturas especializadas.

A mesma lógica foi utilizada para a determinação do parâmetro quantidade de óleo combustível consumido por tonelada de alumina produzida. O valor obtido foi de 0,131 tonelada de óleo combustível por tonelada de alumina.

Para cada cenário foram calculados os indicadores de intensidade de emissão de CO_{2eq} para cada uma das alternativas energéticas mencionadas. Também foram representadas graficamente as emissões totais de CO_{2eq} a ser emitida a partir de cada tipo de combustível.

5.4.2 Limitações e barreiras à viabilização prática da análise de cenários

Este estudo consistiu basicamente na análise de possíveis substitutos energéticos para a indústria de alumínio, na etapa relacionada à produção de alumina utilizada como insumo na produção de alumínio primário.

1 *Série histórica fornecida pela Abal*

É importante ressaltar que não se está avaliando quantitativamente a viabilidade econômico-financeira de cada alternativa, visto que para isso seriam necessários dados mais detalhados de tipo de tecnologia por planta, dados de custo por planta, etc. Um estudo ideal (que dispusesse dos dados ideais bem como de tempo suficiente) deveria considerar esse vetor econômico na análise dos potenciais de mitigação ideais a serem incentivados no Brasil.

Ainda com respeito a um estudo ideal de cenário seria necessário avaliar a viabilidade tecnológica e operacional de adaptar a infraestrutura de cada planta industrial existente no País ao uso dos combustíveis alternativos aqui descritos.

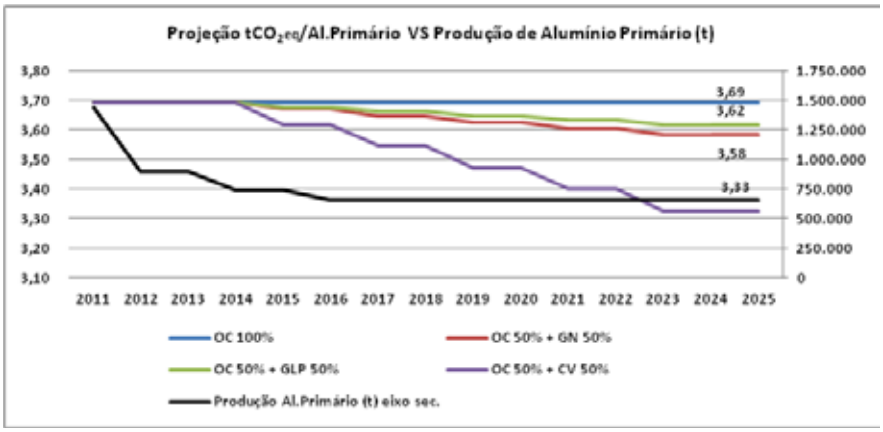
Outro ponto que é uma limitação reconhecida desse estudo de cenário, é que apesar de se buscar avaliar da disponibilidade de oferta dos combustíveis alternativos recomendados, não se está aqui avaliando potenciais barreiras logísticas e regulatórias à sua obtenção por parte das plantas. Para tal, idealmente seria realizado um estudo mais aprofundado que considerasse a localização geográfica e os obstáculos logísticos e regulatórios para cada planta em separado.

Vale ressaltar que esta análise apresenta critérios qualitativos na escolha de quais combustíveis alternativos a indústria de alumínio poderia utilizar. Para o futuro, fica a possibilidade de se aprimorar a robustez metodológica desses cenários por meio da realização de um modelo de curvas de custo marginal de abatimento que detalhe cada planta em separado seguindo uma abordagem bottom-up. Na falta de dados, tempo e mão de obra para realizar tal "estudo ideal" a metodologia que foi aqui adotada é considerada como a "segunda melhor" para os objetivos desta nota técnica.

5.4.3 Análise do Cenário Pessimista

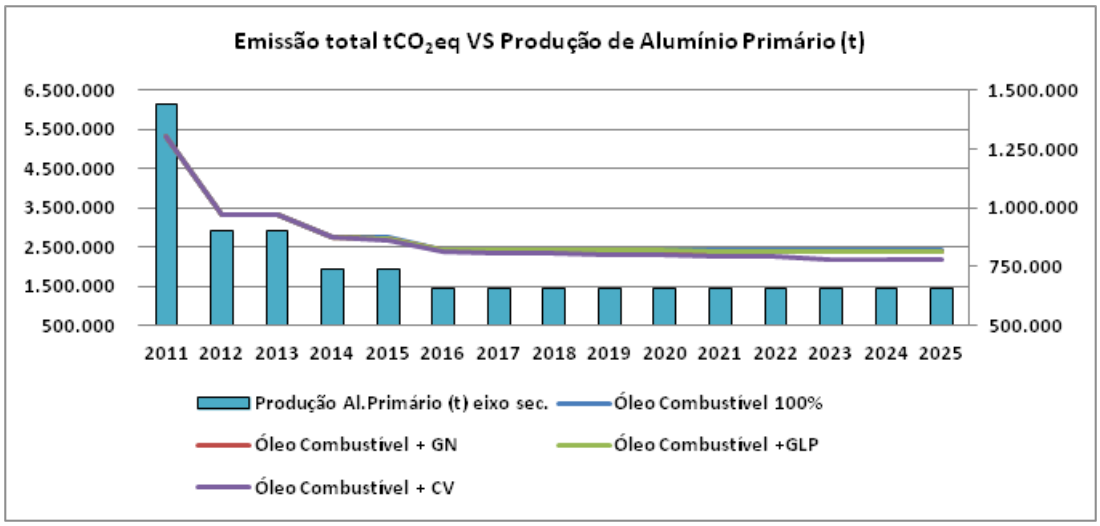
Para este cenário considerou-se que a produção de alumínio atingiria seu valor máximo de 660 mil toneladas a partir de 2016 e continuaria com este montante até 2025, ano em que finda esta análise. O montante de alumina utilizado como insumo seria de 1,23 milhão de toneladas.

Gráfico 12: indicadores de intensidade de co2eq para energia térmica na produção de produção de alumínio primário



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 13: comparativo das emissões de co2eq versus produção de alumínio primário

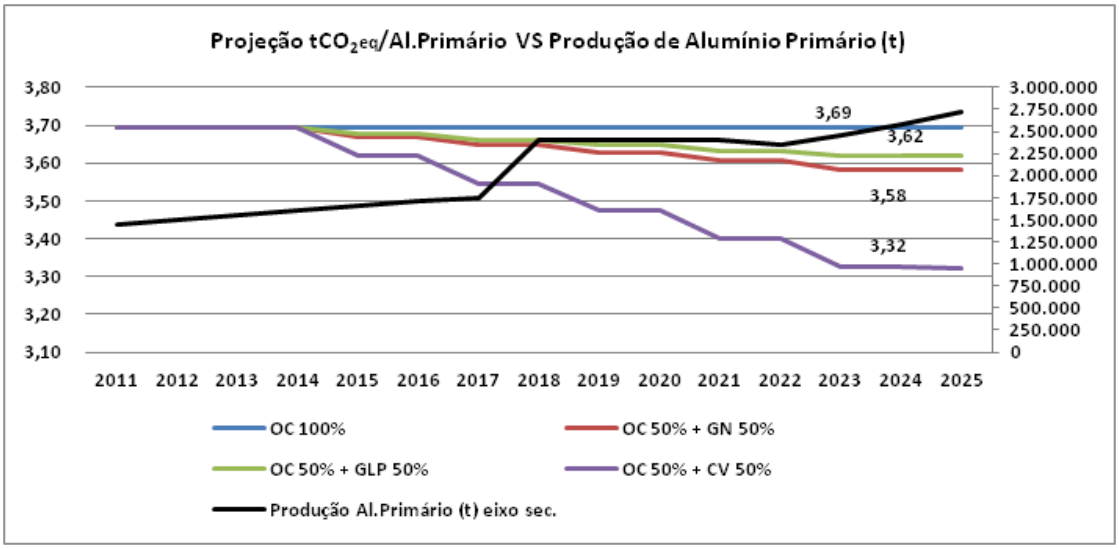


Fonte: Elaboração própria

5.4.4 Análise do Cenário Otimista

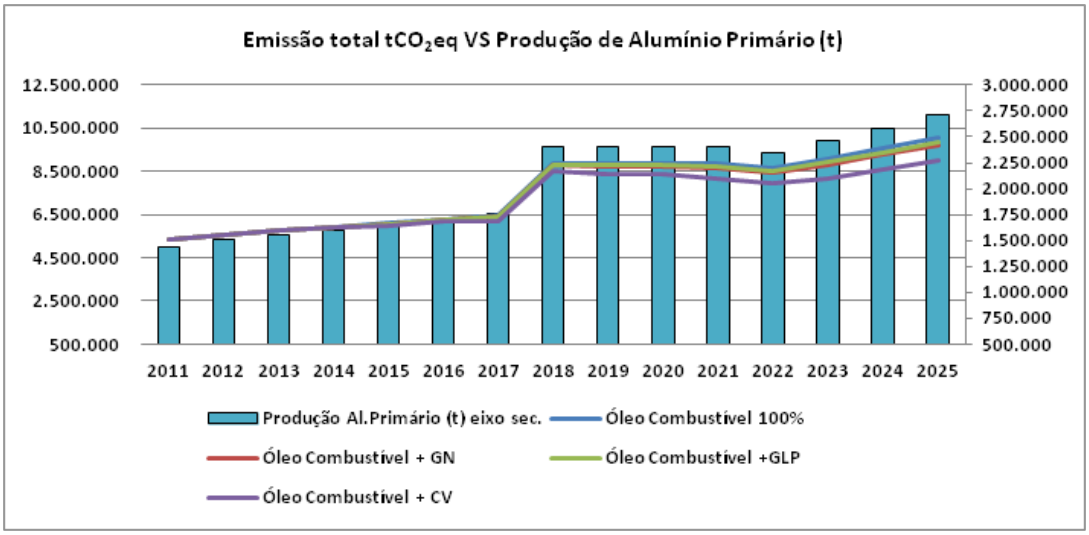
Para este cenário considerou-se que a produção de alumínio atingiria seu valor máximo de 2,71 milhões de toneladas em 2025. O montante de alumina utilizado como insumo seria de 5,22 milhões de toneladas.

Gráfico 14: indicadores de intensidade de co2eq para energia térmica na produção de alumínio primário



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 15 comparativo das emissões de co2eq versus produção de alumínio primário



Fonte: Elaboração própria

5.4.5 Conclusão dos cenários de baixo carbono

Após a análise dos gráficos referente aos indicadores de emissão de CO2eq e também de emissões totais de CO2eq para cada uma das opções energéticas analisadas, é possível concluir que a melhor opção é a utilização de carvão vegetal com óleo combustível. Porém, as demais combinações energéticas também apresentam melhores índices e resultados referentes a redução na emissão de CO2eq do que um cenário onde somente óleo combustível fosse utilizado.

5.4.6 Análise da Disponibilidade de combustível

Uma das etapas mais importantes quando se trabalha com substituição de combustíveis no setor industrial é a análise da relação oferta/demanda futura dos combustíveis escolhidos. Para tanto, deve-se prever o consumo médio de combustível, no mínimo, nos próximos dez anos, e confrontar esses dados com as possíveis situações de oferta. A tabela 2 apresenta um resumo referente ao consumo máximo de combustível para cada um dos cenários.

Tabela 70: consumo máximo de combustíveis alternativos

		Pessimista	Otimista
Gás Natural	$10^6 m^3$	90,5	372,5
GLP	t	71.752,9	295.283,7
CV	t	123.266,4	507.276,7

Fonte: Elaboração própria

5.4.6.1 Disponibilidade de Gás Natural (GN)

Conforme dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2012), nos últimos dez anos a produção de gás natural apresentou crescimento de 63,85%, enquanto que as reservas provadas aumentaram em 89,92%, para o mesmo período. O aumento destas reservas é de extrema importância, pois mostra uma evolução do setor como um todo, além de acenar para a possibilidade real de aumento da produção deste insumo energético.

Conforme a ANP, no ano de 2010 foram consumidos cerca de 8.086 milhões de m^3 de GN, sendo que o crescimento do consumo quando comparado ao ano de 2009 foi de 31,26%. Outro ponto que favorece a oferta deste energético é a sua importação. Atualmente há duas formas de importação: a primeira através do gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL), por onde, no ano de 2010 foram transportados 9.820 milhões de m^3. A segunda forma de importação ocorre através dos terminais de Gás Natural Liquefeito (GNL) que estão localizados em Pecém/CE (capacidade de 7 milhões de m^3) e na Baia de Guanabara/RJ (capacidade de 14 milhões de m^3).

Conforme estudo apresentado no Plano Nacional de Energia 2030 (PNE, 2008), as projeções de volume de GN a ser produzido no Brasil para os anos de 2020 e 2030 são de 75.190 milhões de m^3 e 164.250 milhões de m3, respectivamente. Valores, que no montante diário representariam 206 milhões de m^3 em 2020 e 450 milhões de m^3 em 2030. A EPE (2008), autora do PNE 2030, justifica estes dados com base no crescimento médio anual de 8,4% do setor ao longo do período de 1995 a 2005. As projeções consideraram o crescimento histórico e também a entrada em operação de novas unidades produtoras do energético.

Nos três cenários analisados, o consumo de GN atingirá o seu valor máximo no ano de 2025, distribuídos da seguinte forma: pessimista com consumo de 248 mil m^3/d, otimista com consumo de 1,02 milhão de m^3/d.

Ou seja, há espaço para que a indústria de produção de alumina possa optar pela implementação do GN como alternativa energática. Em casos onde a empresa localize-se distante da rede de gasodutos, é possível que o abastecimento ocorra através da distribuição a granel do GN, onde há duas opções: GNL, onde será necessário que a empresa consumidora tenha uma unidade de regaseificação, ou o Gás Natural Comprimido (GNC), onde as instalações necessárias são mais simples.

5.4.6.2 Disponibilidade de Gás Liquefeito De Petróleo (GLP)

Conforme dados do BEN 2011 a produção de GLP nos últimos 10 anos apresentou média de 9,67 milhões de m^3 ao ano. Já a demanda apresenta valores acima da produção com média de 12,16 milhões de $m^{3,}$ e o diferencial é abastecido através da importação.

Dados do Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2008), mostram que haverá um forte aumento da produção de GLP, principalmente em virtude do acréscimo do volume de gás natural a ser processado. As correntes de propano e butano que compõem o GLP, também são extraídas nas Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN), quando o GN é tratado. A produção de GN consolidará seu aumento, principalmente, devido a entrada em operação dos campos pertencentes a área denominada Pré-Sal.

A tabela 29 apresenta uma compilação dos dados de produção de GLP (total, produzido pelas refinarias e produzidos pelas UPGNs), dados de projeção da demanda projetados pela EPE (2008), e um comparativo informando, para os anos em questão, o quanto o consumo de cada cenário simulado representará da demanda total projetada.

Tabela 71: projeção de produção e demanda de GLP

GLP		2015	2020	2025
Produção Refinarias	m^3/dia	38.840	35.046	25.990
Produção UPGNs	m^3/dia	11.160	23.842	38.555
Produção Total	m^3/dia	50.000	58.888	64.545
Demanda Total	m^3/dia	47.750	56.562	64.219
%Demanda Total				
Pessimista	%	0,17%	0,38%	0,56%
Otimista	%	0,38%	1,38%	2,29%

Fonte: EPE, 2008

Conforme a tabela 3 a substituição de até 50% do óleo combustível por GLP, nos dois cenários, mostra-se viável no quesito suprimento energético.

5.4.6.3 Disponibilidade de Carvão Vegetal

Conforme dados do BEN 2011, a produção de carvão vegetal nos últimos 10 anos apresenta média de 8,58 milhões de toneladas. O consumo acompanha o volume produzido, não havendo nem importação nem exportação do energético, em quantidades significativas.

O comportamento da produção de CV nos últimos 10 anos apresentou capacidade máxima de 10,05 milhões de toneladas em 2004 e 9,89 milhões de toneladas em 2008. Ou seja, com tais

dados é possível concluir que há espaço para que ocorra um novo aumento da produção, caso haja demanda necessária para tal.

O Plano Decenal de Energia (2010) aponta que para o período de 2010 a 2015 haverá um crescimento médio anual de 7%, o que acarretaria em uma demanda de 11,2 milhões de toneladas em 2015. Já para o período entre 2015 a 2020 a previsão é de que o incremento na demanda ocorra de forma mais suave, apresentando média de crescimento anual de 1,3%. Com isto, a demanda para 2020 seria em torno de 12 milhões de toneladas. O crescimento médio para o período apresenta-se como 4,2% (entre 2010 a 2020). Utilizando este crescimento médio para projetar a demanda de 2025 conclui-se que esta apresentaria o valor de 14,4 milhões de toneladas.

Nos dois cenários analisados, o consumo de CV atingirá o seu valor máximo no ano de 2025, distribuídos da seguinte forma: pessimista com consumo de 0,22 milhão de toneladas (1,53% da demanda prevista); otimista com consumo de 0,507 milhão de toneladas (3,42% da demanda prevista).

Como o maior consumidor do carvão vegetal é setor industrial e normalmente a produção é adequada ao padrão de consumo, há possibilidades de que as empresas produtoras de alumina possam ter sua demanda atendida.

6. Recomendações finais

Essa seção conclui a nota técnica apresentando recomendações de estudos futuros e ações para aprimorar a falta de dados e ferramental analítico que foram levantados ao longo de todo o estudo. Em seguida são apresentadas recomendações de políticas públicas para incentivar algumas ações de mitigação levantadas nessa nota.

As recomendações a seguir foram levantadas a partir da análise realizada em toda o estudo e não devem ser analisadas em separada do estudo, a leitura prévia das seções do estudo é de vital importância para compreender por que tais recomendações foram levantadas. Em especial, recomenda-se a leitura detalhada das seções que tratam do perfil técnico, do perfil de emissões, do potencial de mitigação e dos cenários de baixo carbono.

6.1 Recomendações de estudos e coleta de dados necessários

Aqui são apresentadas recomendações que surgiram de diversas lacunas de dados existentes que limitaram a análise da nota técnica e poderiam ser tratadas em estudos futuros de maneira a aprimorar a análise do setor.

6.1.1 Separar a análise de produção de alumina da produção de alumínio primário

Como evidenciado ao longo dessa nota técnica a produção de alumina no país está exposta a uma dinâmica econômica e de comércio internacional diferente da produção de alumínio primário. A produção de alumina vem apresentando taxas de crescimento de produção expressivas nos últimos anos e a parcela da produção total nacional que é exportada é elevada (em torno de 70% do total produzido), enquanto a produção de alumínio primário apresentou queda na quantidade total produzida de 2010 para 2011 e as importações de alumínio primário tem crescido ano a ano.

Para políticas públicas e análises futuras recomenda-se tratar em separado os dois setores para melhor adequar a elaboração de políticas públicas ao caso de cada um.

6.1.2 Estudo de curvas de custo marginal de abatimento para o setor

A melhor maneira de se avaliar quais opções de mitigação são mais viáveis economicamente é por meio da realização de um estudo de curvas de custo marginal de abatimento para o setor. A partir dessa ferramenta de análise de opções de mitigação podem ser encontradas as alternativas mais custo-eficiente para reduzir emissões no setor. O estudo também permite avaliar o impacto financeiro de políticas públicas e instrumentos regulatórios aplicados às empresas do setor. Um estudo desse tipo deveria idealmente ser feito com dados do perfil tecnológico, energético, econômico de cada planta algo que demandaria uma necessidade de recursos humanos e financeiros expressivos.

6.1.3 Expandir os dados coletados de consumo de combustível para além do óleo combustível

Como ressalvado repetidas vezes ao longo dessa nota técnica, somente estão disponíveis publicamente dados de consumo de óleo combustível para produção de alumina e alumínio primário. Apesar de se saber que houve nos últimos anos uma migração para outros combustíveis como o carvão e o gás natural, não há dados que permitam quantificar essa migração.

Sem o acesso a esses dados, qualquer cálculo de emissões de energia térmica fica subestimado e não é possível realizar nenhuma análise de ganhos reais de eficiência em emissões decorrentes do uso de energia térmica.

6.1.4 Perfil tecnológico da produção de alumina que permita investigar potenciais de ganho de eficiência térmica

A principal fonte de emissão de energia térmica do escopo dessa nota técnica é aquela que ocorre na calcinação de alumina e na geração de vapor ambas ocorrendo na etapa de produção de alumina. Estudos apontam que dependendo da tecnologia utilizada na calcinação seria possível obter ganhos de eficiência térmica de até 30% (IEA, 2008) ao realizar substituições do maquinário antigo por tecnologias mais modernas.

Falta, porém um perfil tecnológico que permita averiguar qual tecnologia é atualmente utilizada nessa etapa da produção no Brasil e se há espaço para melhorias de eficiência energética. O estudo ideal deveria também mensurar os custos de eventuais trabalhos de modernização dessas instalações.

6.2 Recomendações de ações de mitigação a serem investigadas e incentivadas por meio de políticas públicas

Nesta parte do estudo são apresentadas algumas recomendações relacionadas a determinadas ações de mitigação de emissão analisadas nessa nota.

6.2.1 Testar e implantar o uso de combustíveis alternativos e reaproveitamento de energia térmica na produção de alumina

Apesar de ainda não haver dados estatísticos precisos, já se sabe que o setor tem migrado de óleo combustível para alternativas energéticas fósseis como o carvão e o gás natural. O gás natural, por exemplo, é menos intensivo em emissões de GEEs do que o óleo combustível e mesmo não sendo um combustível de baixo carbono (como é o caso da biomassa ou do carvão vegetal certificado) a adoção do gás natural em detrimento ao óleo reduziria a intensidade carbônica do setor. A troca do mix de combustíveis adotados na produção de alumina está limitada pela tecnologia dos calcinadores e boilers utilizados: esses devem suportar o uso desses combustíveis.

Políticas públicas e ações necessárias

- *Estudos técnicos: Realizar estudo sobre a viabilidade tecnológica, econômica e logística de se utilizar combustíveis alternativos na produção de alumina que apresente custos estimados para cada uma das adaptações que seriam necessárias às tecnologias atuais. Estudar o caso da viabilidade do uso e da disponibilidade de oferta de certos tipos de biomassa seria vital para averiguar a possibilidade de reduzir emissões nessa etapa da produção.*
- *Incentivos fiscais para empresas que realizam estudos pilotos e testes com combustíveis alternativos.*
- *Incentivos financeiros: para entidades (empresas, academia etc.) envolvidas com pesquisa e desenvolvimento em combustíveis alternativos na produção de alumina.*

6.2.2 Reduzir a intensidade carbônica da energia elétrica utilizada na produção de alumínio primário

- *Incentivos à geração isolada de energia de baixo carbono: As empresas do setor que possuem fontes de geração própria de energia elétrica de baixo carbono não dispõem hoje de um mecanismo de incentivo para expansão dessa prática. Essa medida seria um fator com potencial de reduzir emissões de energia elétrica que também reduziria a exposição do setor da volatilidade do fornecimento e do preço de energia.*
- *Incentivo à compra de energia renovável: Ainda não há no Brasil um mecanismo que certifique e permita identificar compras de energia advindas de fonte renovável. Esse mecanismo poderia ser a base para uma série de outras políticas de incentivo para indústrias que conseguissem certificar a compra de energia renovável. Seria, por exemplo, possível oferecer um benefício fiscal proporcional à compra de energia de baixo carbono. Essas compras certificadas também seriam ativos que poderiam ser utilizados para diferenciar o alumínio primário nacional face à competição de produtores estrangeiros.*

6.2.3 Incentivar e Estudar os casos de simbiose industrial

Para expandir as práticas de reuso de materiais residuais da produção que gerem redução líquida de emissão, as seguintes recomendações são necessárias:

- *Estudos técnicos: Para identificar todos os casos existentes e ainda não explorados de simbiose industrial no caso brasileiro. O estudo também deveria mensurar e averiguar se há redução líquida de emissões em cada uma dessas práticas e o seu custo total.*
- *Incentivos fiscais para a empresa receptora e para a empresa geradora do material residual nos casos em que há redução de emissão líquida.*

6.2.4 Garantir o uso da melhor tecnologia em novas plantas de produção de alumínio primário

Identificou-se que migrar da tecnologia Soderberg para Prebake para plantas já em funcionamento é algo inviável em termos de custos. Deve-se então incentivar a adoção da melhor tecnologia disponível em novas plantas que venham a ser implantadas no País nas próximas décadas. Chama-se a atenção para que, em função da escala desse tipo de planta e da projeção de produção nacional de alumínio, a frequência com que novas plantas serão abertas no futuro é baixa. Pode demorar anos ou décadas até que uma nova planta seja aberta, e até lá, a melhor tecnologia pode não ser mais a Center-Worked Prebake.

Políticas públicas e ações necessárias

- *Incentivo fiscais e creditícios para novas plantas que utilizem a melhor tecnologia: Ao ser aberta, uma nova planta de produção de alumínio primário poderia obter condições diferenciadas tributárias e de acesso a financiamento, caso estejam instalando a melhor tecnologia economicamente viável. Deve-se ressaltar que em função da escala desse tipo de planta e da projeção de produção nacional de alumínio, a frequência com que novas plantas são abertas é baixa. Pode demorar anos ou décadas até que uma nova planta seja aberta, e até lá, a melhor tecnologia pode não ser mais a Center-Worked Prebake.*

6.2.5 Garantir a continuidade da redução de intensidade de emissão de PFCs no setor por meio de melhor controle de efeitos anódicos

Como apresentado no perfil de emissões, a produção de alumínio primário no Brasil obteve reduções de emissões de PFCs notáveis nos últimos anos. Deve-se garantir que a intensidade de emissão de PFCs (por t alumínio produzido) seja no mínimo mantida como está hoje. E devem ser criados incentivos para reduzir ainda mais essa intensidade. Essa recomendação pode inclusive aumentar a eficiência produtiva e elétrica do setor, visto que os efeitos anódicos geram desperdício de matéria-prima e energia.

Políticas públicas e ações necessárias

- *A necessidade de um inventário de emissões: Como apontada na nota técnica*

de mensuração, reporte e verificação, mensurar as emissões do setor e averiguar a evolução na intensidade carbônica do setor para que seja possível distribuir prêmios àqueles que estiverem reduzindo sua intensidade de emissões de PFCs.

• Incentivo fiscal para plantas industriais que consigam manter ou reduzir sua intensidade de PFCs: Se a planta em determinado ano apresentar intensidade carbônica superior (mais emissões por unidade), ela perde acesso ao benefício fiscal.

• Critérios de intensidade carbônica de PFCs para obtenção de crédito: Caso a planta industrial consiga apresentar redução gradual em sua intensidade de emissão de PFCs por unidade produzida, ela poderá obter melhores condições de financiamento com bancos públicos.

6.2.6 Pesquisa e desenvolvimento em rotas tecnológicas alternativas na produção de alumínio primário

Apesar de ainda serem opções sem nenhuma viabilidade comercial, as rotas tecnológicas alternativas para a fase de redução podem nas próximas décadas viabilizar a produção de alumínio primário com uma quantidade de emissões de GEEs extremamente baixa. Se houvesse a preocupação de garantir que o Brasil continue sendo líder na produção de alumínio primário, seria estratégico desenvolver pesquisa e desenvolvimento nessas rotas, visto que podem ser um diferencial competitivo nas décadas futuras, reduzindo a necessidade de insumos energéticos.

Políticas públicas e ações necessárias

• O risco e a necessidade de investimentos de se investir nessas rotas podem ser muito elevados para apenas uma empresa. Parcerias entre academia e setor privado, incentivos para incubadoras tecnológicas nessa área, consórcios de empresas, bolsas de pesquisa específicas para temas relacionados a essas tecnologias, fundos públicos para financiar protótipos e projetos pilotos são exemplos de algumas medidas que poderiam ser implantadas.

6.2.7 Expandir a reciclagem de alumínio

Apesar de sua disseminação ser bastante elevada no país, se comparada com o resto do mundo ainda há espaço para o Brasil expandir sua taxa de reciclagem de maneira a se equiparar a países líderes no setor. Aumentar a reciclagem de alumínio reduz a quantidade necessária de produção de alumínio primário para suprir a demanda de alumínio primário das etapas de produção de semi-manufaturados de alumínio. Esse potencial não demanda nenhuma necessidade de P&D e apresenta emissões muito inferiores aquelas ocorrendo na produção de alumínio primário (IEA, 2012). Em termos de necessidade de investimento, apesar de não haver quantificação exata disponível, essa é provavelmente inferior do que alternativas tidas como pouco viáveis financeiramente como, por exemplo: trocar a tecnologia de uma planta de produção de alumínio primário de Soderberg para prebaked, desenvolver novas rotas tecnológicas ou até mesmo adaptar a produção de alumina para uso de combustíveis alternativos.

Políticas públicas e ações necessárias

• Estudo técnico: Realizar estudo abrangente e detalhado em todo o território nacional para mapear geograficamente as principais fontes de oferta de alumínio potencialmente reciclável, mapear todos os atores envolvidos na reciclagem do alumínio, mapear barreiras regulatórias, contabilizar a necessidade exata de financiamento e quantificar o potencial de reciclagem não aproveitado hoje no país. Esse estudo apresentaria como resultado um plano de fomento à reciclagem de alumínio.

• Incentivo fiscal para empresas e outras entidades envolvidas na cadeia de reciclagem de alumínio: Garantir a desoneração fiscal nas entidades envolvidas na reciclagem pode incentivar o uso dessa prática. Essa medida depende da realização do estudo técnico recomendado acima.

• Linhas de financiamento subsidiadas para empresas e outras entidades envolvidas na cadeia de reciclagem de alumínio: Com o objetivo de reduzir potenciais entraves podem ser disponibilizadas linhas de financiamento subsidiadas para fomentar o desenvolvimento da cadeia de reciclagem de alumínio. Essa medida é dependente da realização do estudo técnico recomendado acima.

• Adequação regulatória: A partir do estudo técnico acima recomendado, será possível identificar normas, leis e outras particularidades regulatórias que estejam minando a cadeia de reciclagem desse produto.

• Programas de logística reversa e descarte adequado de produtos contendo alumínio: Criar programas que incentivem o descarte e encaminhamento de produtos contendo alumínio de maneira a garantir a oferta da matéria-prima para a cadeia de reciclagem.

7. Bibliografia

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis [ANP], 2011. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Alunorte, 2012. Site da empresa Hydro: http://www.hydro.com/pt/Aluminio/A-Hydro-no-Brasil/

Associação Brasileira do Alumínio [Abal], 2012. Folheto de Carbono cálculos de emissão realizados por pela Fundação Espaço ECO, em estudo "Avaliação das emissões de GEE na cadeia de valor do alumínio".

Associação Brasileira do Alumínio [Abal], 2012b. Entrevistas, reuniões e textos validados pela ABAL.

Fundação Espaço [ECO], 2011. Avaliação das emissões de GEE na cadeia de valor do alumínio: sumário executivo. A equipe responsável pela elaboração desta nota teve acesso apenas ao sumário executivo desse estudo às vésperas da data final de entrega desta nota técnica.

Associação Brasileira do Alumínio [Abal], 2011. Anuário Estatístico 2011.

Associação Brasileira do Alumínio [Abal], 2011b. Relatório dos estudos desenvolvidos para o Grupo de Trabalho do Alumínio – GTA. Outubro de 2011.

Associação Brasileira do Alumínio [Abal], 2010. Relatório de Sustentabilidade: Indústria Brasileira do Alumínio. 2010.

CARDOSO, J. G. . R.; CARVALHO, P. S. L. .; et al (BNDES, 2011). A indústria do alumínio: estrutura e tendências. BNDES Setorial, n. 33, p. 163-206, Rio de Janeiro, set. 2010.

Centro de Tecnologia Mineral Cetem, 2012. Banco de Dados do Centro de Tecnologia Mineral: MineralData.

Confederação Nacional da Indústria [CNI]. Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria - Relatório Setorial: Metais Não Ferrosos. 2010. Brasil: Brasília.

Consultoria Carboclima Soluções Ambientais [Carboclima], 2011. Setor do Alumínio: Desafios, estratégias e ações setoriais para mitigação das emissões de gases de efeito estufa .

Department of Energy USA [DOE], 2003. Aluminum Technology Roadmap.

Department of Energy USA [DOE], 2001. Alumina Technology Roadmap.

European Commission [EC], 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries.

European Commission [EC], 2009. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries – Draft July 2009.

Empresa de pesquisa energética [EPE], 2011. Balanço Energético Nacional 2011 (BEN).

Empresa de pesquisa energética [EPE], 2008. Plano Nacional de Energia 2030 (BEN). GHG Protocol [GHG], 2005. Calculation tool for direct emissions from Stationary combustion.

International Aluminium Institute and WRI [IAI & WRI], 2006. The Aluminium Sector Greenhouse Gas Protocol.

International Aluminium Institute [IAI], 2010. Results of the 2010 Anode Effect Survey.

International Aluminium Institute [IAI], 2010b. Alumina Technology Roadmap.

International Aluminium Institute [IAI], 2009. Aluminium for Future Generations.

International Aluminium Institute (Marks, J & Bayliss, C.) [IAI], 2008. IEA/ERI Workshop on International Comparison of Industrial Energy Efficiency: The Aluminium Industry.

International Aluminium Institute [IAI], 2000. Life Cycle Inventory Of The Worldwide Aluminium Industry With Regard To Energy Consumption And Emissions Of Greenhouse Gases.

International Energy Agency [IEA], 2012. IEA ETSAP - Technology Brief I10 – Aluminium Production – disponível em www.etsap.org

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] 1996, Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volumes I, II and III. IPCC, Bracknell UK

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] 2001, Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC / IGES, http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,

Ministério da Ciência e Tecnologia [MCT]. (2012). Fatores de Emissão de CO2 para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, como, por exemplo, inventários corporativos. Disponível em: http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764.html

Ministério de Ciência e Técnologia e Abal [MCT & Abal]. (2010). Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais – Produção de Metais: Alumínio.

Ministério da Ciência e Tecnologia [MCT]. (2010). Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.

Ministério de Minas e Energia [MME], 2011. Anuário Estatístico. Setor metalúrgico. Secretaria de Minas e Metalurgia (SMM). Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2011.

Novelis, 2012. Site da empresa Novelis S.A. disponível em: http://www.novelis.com/pt-br/Paginas/Who-We-Are.aspx

Programa Brasileiro GHG Protocol [GHG Brasil], 2012. Ferramenta de cálculo de emissões versão 2011.3.2 disponível em: http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/index.php?r=site/CapaSecao&id=1

Programa Brasileiro GHG Protocol [GHG Brasil], 2010. Especificações do programa brasileiro GHG Protocol. Disponível em: http://ces.fgvsp.br/ghg/cms/arquivos/ghgespec.pdf

United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC]. Approved baseline and monitoring methodology AM0030 : "PFC emission reductions from anode effect mitigation at primary aluminum smelting facilities"

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [Ren21]. 2012. Renewables Global Status Report 2012.

WELCH, B. J, 1999. Aluminum Production Paths in the New Millennium

World Ressources Institute and Wold Business Council for Sustainable Development [WRI&WBCSD], 2005. Calculation tool for direct emissions from stationary combustion.

8. Anexos

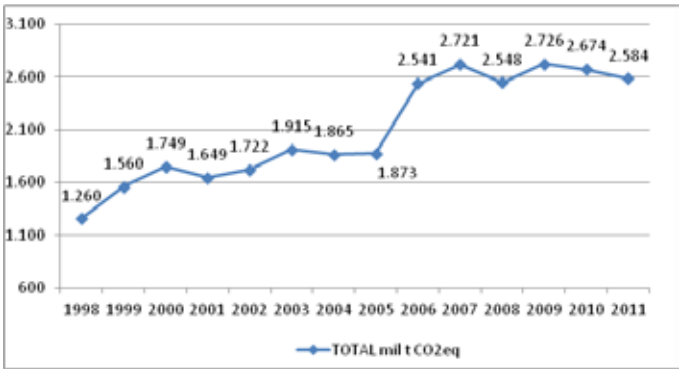
Anexo 1: Emissões absolutas e intensidade na produção total de alumina no País (incluindo alumina exportada)

Neste anexo são calculadas as emissões totais provenientes da produção de alumina (inclusive a parcela considerável da produção que é exportada). Estas séries são incluídas como anexo por terem sido excluídas do escopo do trabalho (que só considera as emissões por queima de combustível na produção da alumina consumida como insumo para produzir alumínio primário no Brasil).

Ressalva metodológica quanto à qualidade dos dados disponíveis de combustíveis

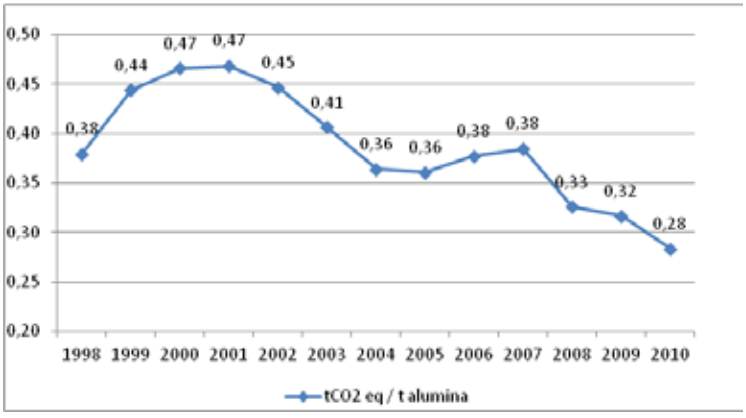
Para essa seção, devem ser consideradas as ressalvas metodológicas apontadas na seção 3.4.4.1.

Gráfico 16: emissões totais de co2 equivalente provenientes da queima de óleo combustível para produzir alumina total produzida no país. 1998 – 2011



Fonte: Cálculo próprio com base em dados de consumo de óleo combustível calculados na tabela acima e metodologia descrita na seção 3.4.1.

Gráfico 17: intensidade de emissões totais de co2eq provenientes da queima de óleo combustível para produzir alumina total produzida no país. 1998 – 2011



Fonte: Cálculo próprio com base em dados de consumo de óleo combustível calculados na tabela acima e metodologia descrita na seção 3.4.1.

Anexo 2: Cenários de redução de emissões de energia térmica da produção total de alumina no País

Introdução aos cenários

O item 4 deste trabalho (Potencial de redução de emissão do setor) apresenta os principais pontos onde há possibilidade de redução de emissão de gases de efeito estufa na produção do alumínio.

Na cadeia produtiva do alumínio, tem-se que um volume grande de emissões é gerado pela queima de combustíveis fósseis para a produção de energia térmica. A maior quantidade de combustível para energia térmica é utilizada na etapa de produção da alumina.

Cenários de redução de emissão por uso de energia térmica

Esse cenário tem por objetivo investigar potenciais de mitigação que possam ser aplicados para reduzir a intensidade de emissões por uso de energia térmica no escopo desta nota técnica.

Metodologia e premissas

Um dos grandes geradores de emissões deste setor industrial é o consumo de óleo combustível, tanto na etapa de produção da alumina quanto na etapa de produção do alumínio primário. Quando se analisa somente a questão das emissões provenientes da energia térmica, torna-se mais coerente que as simulações e posteriores interpretações sejam feitas tendo como base a produção de alumina, visto que do total de óleo combustível consumido, cerca de 90% do total, destina-se à alumina.

Objetivando a redução progressiva da emissão de CO2eq originada a partir da queima dos combustíveis fósseis, na etapa de produção da alumina, foram realizados estudos de substituição gradativa do óleo combustível para cada um dos seguintes combustíveis:

1. *Gás Natural (GN)*
2. *Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)*
3. *Carvão vegetal (CV)*

Cada um desses combustíveis teve sua projeção de redução potencial de CO2 analisada conforme três cenários econômicos traçados para o setor de alumínio, assim denominados: pessimista, continuidade e otimista. Os cenários diferem no valor projetado alumina produzida. Apresenta crescimento abaixo da média no "cenário pessimista", mantém-se constante no "cenário de continuidade" e expande-se no "cenário otimista". Os valores para o cenário pessimista e otimista foram calculados a partir da média de crescimento anual da produção de alumina no intervalo de tempo compreendido entre 1998 a 2011.

Tabela 72: produção de alumina em cada cenário.

	PESSIMISTA (t)	CONTINUIDADE (t)	OTIMISTA (t)
2012	10.538.577	10.954.011	11.149.509
2013	10.907.427	11.784.325	12.208.712
2014	11.289.187	12.677.577	13.368.540
2015	11.684.309	13.638.537	14.638.551
2016	12.093.260	14.672.338	16.029.214
2017	12.516.524	15.784.501	17.551.989
2018	12.954.602	16.980.966	19.219.428
2019	13.408.013	18.268.124	21.045.274
2020	13.877.293	19.652.847	23.044.575
2021	14.362.999	21.142.533	25.233.809
2022	14.865.704	22.745.137	27.631.021
2023	15.386.003	24.469.219	30.255.968
2024	15.924.513	26.323.985	33.130.285
2025	16.481.871	28.319.344	36.277.662

Fonte: Elaboração própria

Cientes da necessidade tecnológica de se adaptar o maquinário para viabilizar o uso de combustíveis diferentes, buscou-se modelar uma possível viabilidade operacional, tanto para o caso da substituição por carvão vegetal quanto por biomassa. Em ambos os casos, esses combustíveis tiveram suas substituições gradativas simuladas até que fosse atingido uma proporção máxima de 50% de óleo combustível e 50% carvão vegetal/ biomassa.

A projeção de produção de alumina é realizada a partir da média de crescimento anual obtida para o período de 1998 a 2011. O valor obtido para o período foi de 7,58% ao ano. No cenário pessimista adotou-se taxa de crescimento de 3,5% ao ano, no cenário continuidade a taxa foi de 7,58% .a.a e no cenário otimista o valor foi de 9,5% a.a.

A projeção do consumo de óleo combustível para o período em análise foi obtida a partir do cálculo da média (quantidade de alumina total produzida pelo total de óleo combustível consumido) histórica[1], cujo valor encontrado foi de 131kg de combustível para cada tonelada de alumina gerada. Através da identificação deste parâmetro, as equivalências energéticas foram calculadas através do poder calorífico inferior (PCI) dos energéticos recomendados.

Para cada cenário foram calculados os indicadores de intensidade de emissão de CO2eq para cada uma das alternativas energéticas mencionadas. Também foram representadas graficamente as emissões totais de CO_{2eq} a ser emitida a partir de cada tipo de combustível.

DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Este estudo consistiu basicamente na análise de possíveis substitutos energéticos para a indústria de alumínio, na etapa relacionada à produção de alumina, na qual ocorre o maior consumo de energia térmica.

É importante ressaltar que não se está avaliando quantitativamente a viabilidade econômico-financeira de cada alternativa, visto que para tal seriam necessários dados mais detalhados de tipo de tecnologia por planta, de custo por planta, etc. Um estudo ideal (que dispusesse dos dados ideais bem como de tempo eficiente) deveria considerar esse vetor econômico na análise.

Ainda com respeito a um estudo ideal de cenário seria necessário avaliar a viabilidade tecnológica e operacional de adaptar a infraestrutura das plantas existentes ao uso dos combustíveis alternativos aqui descritos.

Outro ponto que é uma limitação reconhecida desse estudo de cenário, é que apesar de se buscar avaliar da disponibilidade de oferta dos combustíveis alternativos recomendados, não se está aqui avaliando potenciais barreiras logísticas e regulatórias para sua obtenção por parte das plantas. Para tal, idealmente seria realizado um estudo mais aprofundado que considerasse a localização geográfica e os obstáculos logísticos e regulatórios para cada planta em separado. Vale ressaltar que esta análise apresenta critérios qualitativos na escolha de quais combustíveis alternativos a indústria de alumínio poderia utilizar. Para o futuro, fica a possibilidade de se aprimorar a robustez metodológica desses cenários, por meio da realização de um modelo de curvas de custo marginal de abatimento que detalhe cada planta em separado seguindo uma abordagem bottom-up. Na falta de recursos de dados, tempo e pessoal para realizar tal "estudo ideal", a metodologia que se foi aqui adotada é considerada como a "segunda melhor" para os objetivos desta nota técnica.

ANÁLISE DO CENÁRIO PESSIMISTA

Para este cenário considerou-se que a taxa média de crescimento da alumina seja de 3,5% ao ano, atingindo valor máximo de 16,48 milhões de toneladas em 2025, ano em que se encerra a análise.

1 Dados fornecidos pela ABAL

Gráfico 18: indicadores de intensidade de co2eq para energia térmica na produção de alumina

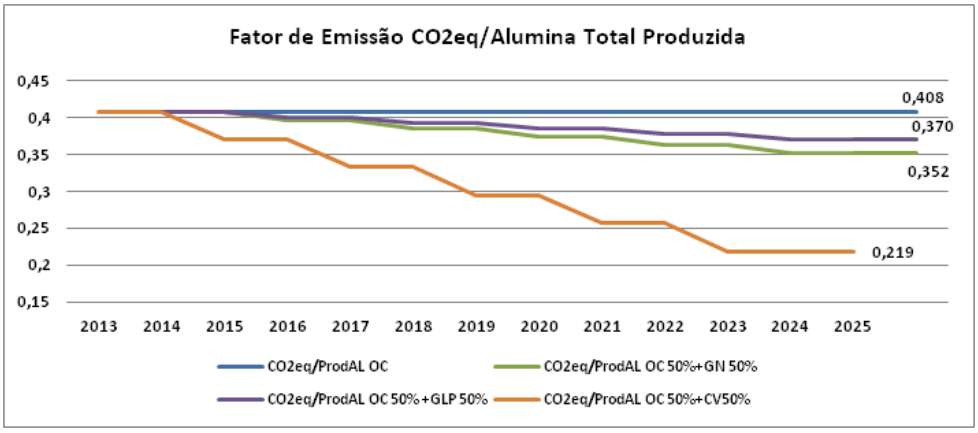
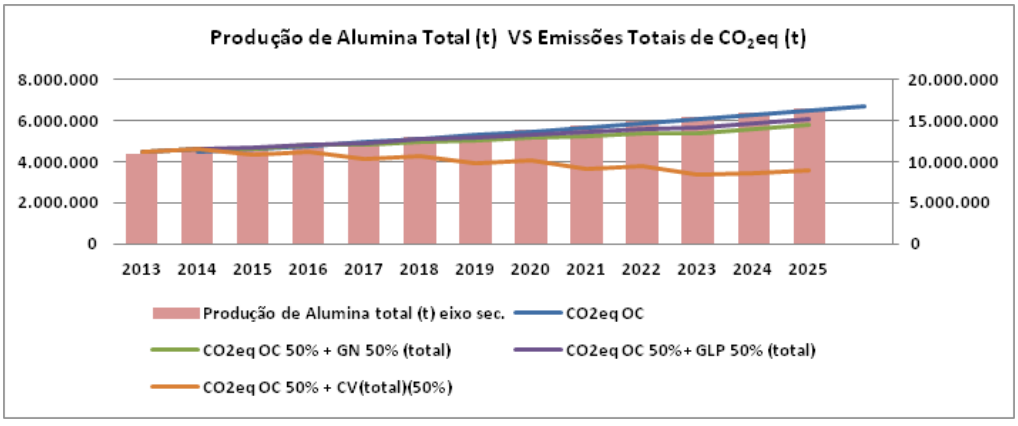


Gráfico 19: comparativo das emissões de co2eq versus produção de alumina – cenário pessimista



CENÁRIO DE CONTINUIDADE

Para este cenário considerou-se que a taxa média de crescimento da alumina seja de 7,58% ao ano, atingindo valor máximo de 28,32 milhões de toneladas em 2025, ano em que se encerra a análise.

Gráfico 20: indicadores de intensidade de co2eq para energia térmica na produção de alumina

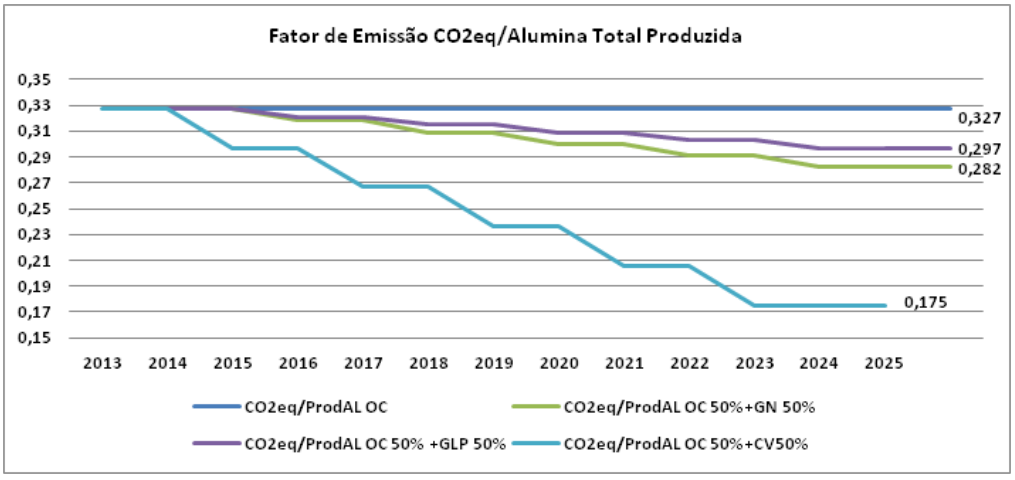
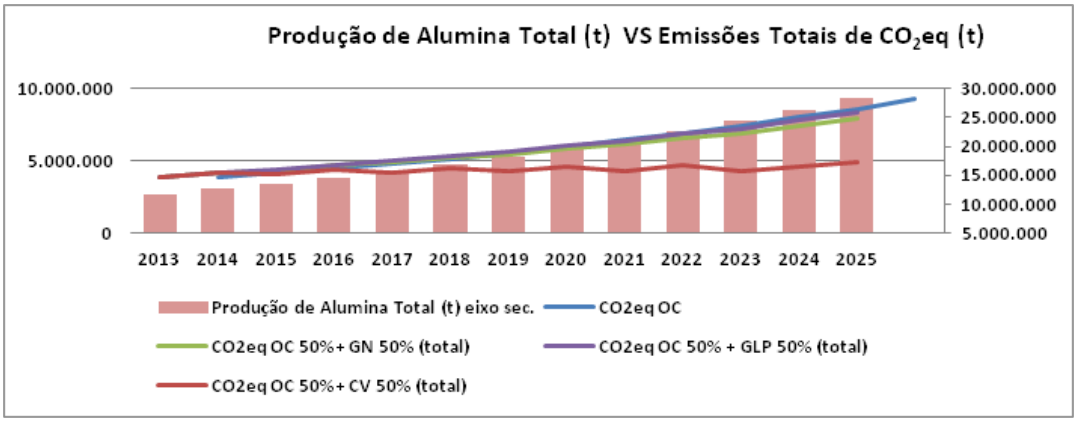


Gráfico 21: comparativo das emissões de co2eq versus produção de alumina



ANÁLISE DO CENÁRIO OTIMISTA

Para este cenário considerou-se que a taxa média de crescimento da alumina seja de 9,5% ao ano, atingindo valor máximo de 36,28 milhões de toneladas em 2025, ano em que se encerra a análise.

Gráfico 22: indicadores de intensidade de co2eq para energia térmica na produção de alumina

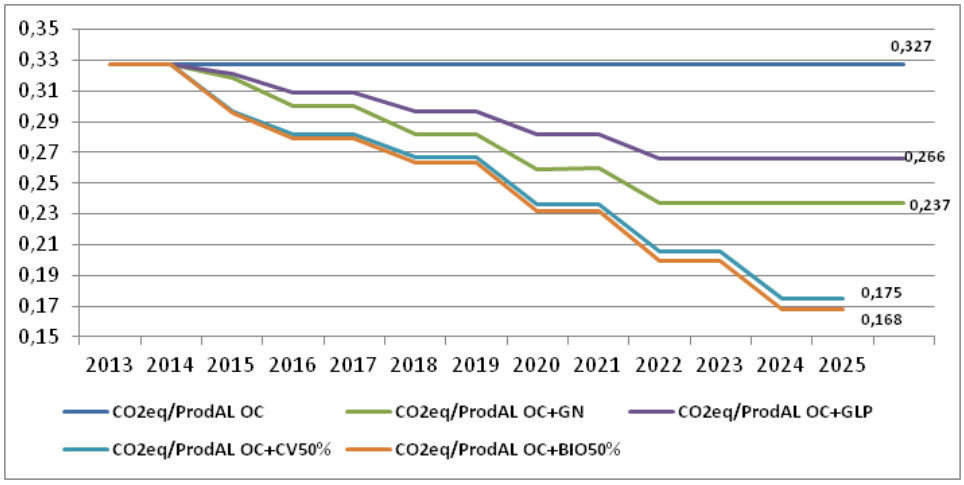
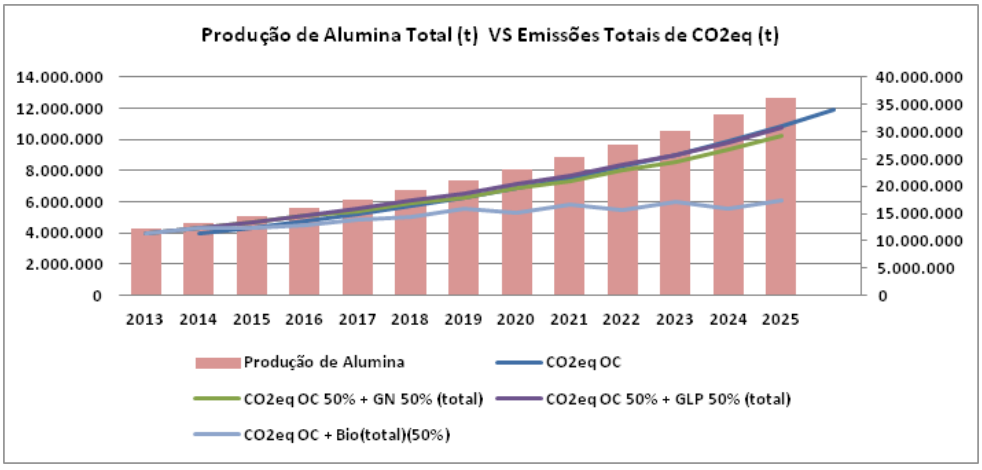


Gráfico 23: comparativo das emissões de co2eq (eixo direito) versus produção de alumina (eixo esquerdo)



Conclusão sobre cenários de baixo carbono

Após a análise dos gráficos referente aos indicadores de emissão de CO_{2eq} e também de emissões totais de CO_{2eq} para cada uma das opções energéticas analisadas, é possível concluir que a melhor opção é aquele que utiliza a mistura de carvão vegetal e óleo combustível na proporção de 50% para cada um destes.

Na sequência, tem-se que o GN é o melhor combustível fóssil a ser usado na produção de alumina, mas ao mesmo tempo, o GLP também deve ser considerado como uma opção por apresentar pouca diferença quando comparado ao GN.

ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE COMBUSTÍVEL

Uma das etapas mais importantes quando se trabalha com substituição de combustíveis no setor industrial é a análise da relação oferta/demanda futura dos combustíveis escolhidos. Para tanto, se deve prever o consumo médio de combustível, no mínimo, nos próximos dez anos, e confrontar estes dados com as possíveis situações de oferta. As tabelas 31, 32 e 33 apresentam a previsão de consumo dos combustíveis para o estudo em questão, para os cenários: continuidade, pessimista e otimista, respectivamente.

Tabela 73: previsão de consumo de combustíveis fósseis e taxas de substituição do energético para o cenário de pessimista

Parâmetros		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Produção de Alumina	t	10.907.427	11.289.187	11.684.309	12.093.260	12.516.524	12.954.602	13.408.013	13.877.293	14.362.999	14.865.704	15.386.003	15.924.513	16.481.871
Consumo de Energia	TJ	57.369	59.377	61.455	63.606	65.833	68.137	70.521	72.990	75.544	78.188	80.925	83.757	86.689
Taxa de Substituição de Combustível	%	0%	0%	10%	10%	20%	20%	30%	30%	40%	40%	50%	50%	50%
Consumo de Gás Natural	$10^6 m^3$	0,0	0,0	166,8	172,7	357,4	369,9	574,3	594,4	820,3	849,0	1.098,3	1.136,8	1.176,6
Consumo de GLP	t	0	0	133.810	138.494	286.682	296.716	460.651	476.774	657.948	680.976	881.012	911.848	943.762
Consumo de Carvão Vegetal	t	0	0	226.535	234.464	485.341	502.328	779.864	807.159	1.113.879	1.152.865	1.491.519	1.543.722	1.597.753

Tabela 74: previsão de consumo de combustíveis fósseis e taxas de substituição do energético para o cenário de continuidade

Parâmetros		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Produção de Alumina	t	11.784.325	12.677.577	13.638.537	14.672.338	15.784.501	16.980.966	18.268.124	19.652.847	21.142.533	22.745.137	24.469.219	26.323.985	28.319.344
Consumo Energia	TJ	49.680	53.445	57.497	61.855	66.544	71.588	77.014	82.851	89.132	95.888	103.156	110.975	119.387
Taxa de Substituição de Combustível	%	0%	0%	10%	10%	20%	20%	30%	30%	40%	40%	50%	50%	50%
Consumo Previsto de Gás Natural	$10^6 m^3$	0,0	0,0	156,1	167,9	361,3	388,7	627,2	674,7	967,8	1.041,1	1.400,1	1.506,2	1.620,4
Consumo Previsto de GLP	t	0	0	125.191	134.680	289.778	311.743	503.060	541.191	776.285	835.127	1.123.038	1.208.164	1.299.743
Consumo Previsto de Carvão Vegetal	t	-	-	211.943	228.008	490.582	527.768	851.660	916.216	1.314.220	1.413.838	1.901.258	2.045.374	2.200.413

Tabela 75: previsão de consumo de combustíveis fósseis e taxas de substituição do energético para o cenário otimista

Parâmetros		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Produção de Alumina	t	12.208.712	13.368.540	14.638.551	16.029.214	17.551.989	19.219.428	21.045.274	23.044.575	25.233.809	27.631.021	30.255.968	33.130.285	36.277.662
Consumo Energia	TJ	51.469	56.358	61.712	67.575	73.995	81.024	88.722	97.150	106.379	116.485	127.552	139.669	152.938
Taxa de Substituição de Combustível	%	0%	0%	10%	10%	20%	20%	30%	30%	40%	40%	50%	50%	50%
Consumo Previsto de Gás Natural	$10^6 m^3$	0,0	0,0	167,5	183,4	401,7	439,9	722,5	791,1	1.155,1	1.264,8	1.731,2	1.895,7	2.075,8
Consumo Previsto de GLP	t	0,0	0,0	134.370,0	147.135,1	322.226,0	352.837,4	579.535,5	634.591,3	926.503,4	1.014.521,2	1.388.625,9	1.520.545,3	1.664.997,1
Consumo Previsto de Carvão Vegetal	t	-	-	227.483	249.094	545.516	597.340	981.131	1.074.338	1.568.534	1.717.544	2.350.889	2.574.223	2.818.774

GÁS NATURAL (GN)

Conforme dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2012), nos últimos dez anos a produção de gás natural apresentou crescimento de 63,85%, enquanto as reservas provadas aumentaram em 89,92%, para o mesmo período. O aumento dessas reservas é de extrema importância, pois mostra uma evolução do setor como um todo, além de acenar para a possibilidade real de aumento da produção desse insumo energético.

Conforme a ANP, no ano de 2010 foram consumidos cerca de 8.086 milhões de m^3 de GN, sendo que o crescimento do consumo, quando comparado ao ano de 2009, foi de 31,26%. Outro ponto que favorece a oferta desse energético é sua importação. Atualmente há duas formas de importação: a primeira através do gasoduto Bolívia-Brasil (Gasbol), por onde, no ano de 2010, foram transportados 9.820 milhões de m^3. A segunda forma de importação ocorre pelos terminais de Gás Natural Liquefeito (GNL) que estão localizados em Pecém/CE (capacidade de 7 milhões de m^3) e na baía de Guanabara/RJ (capacidade de 14 milhões de m^3).

De acordo com estudo apresentado no Plano Nacional de Energia 2030 (PNE, 2008), as projeções de volume de GN a ser produzido no Brasil para os anos de 2020 e 2030 são de 75.190 milhões de m3 e 164.250 milhões de m^3, respectivamente. Valores, que no montante diário representariam 206 milhões de m3 em 2020 e 450 milhões de m3 em 2030. A EPE (2008), autora do PNE 2030, justifica esses dados com base no crescimento médio anual de 8,4% do setor ao longo do período de 1995 a 2005. As projeções consideraram o crescimento histórico e também a entrada em operação de novas unidades produtoras do energético.

Nos três cenários analisados, o consumo de GN atingirá seu valor máximo no ano de 2025, distribuídos da seguinte forma: pessimista com consumo de 3,21 milhões de m^3/d, continuidade com consumo de 4,44 milhões de m^3/d e, por fim, o otimista com consumo de 5,7 milhões de m^3/d.

Ou seja, há espaço para que a indústria de produção de alumina possa optar pelo aumento da

participação esta alternativa energética. Em casos em que a empresa localize-se distante da rede de gasodutos, é possível que o abastecimento ocorra pela distribuição a granel do GN. Há duas opções: GNL, em que será necessário que a empresa consumidora tenha uma unidade de regaseificação, ou o Gás Natural Comprimido (GNC), em que as instalações necessárias são mais simples.

GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP)

Conforme dados do BEN 2011, a produção de GLP nos últimos 10 anos apresentou média de 9,67 milhões de m^3 ao ano. Já a demanda apresenta valores acima da produção, com média de 12,16 milhões de m^3, e o diferencial é abastecido pela importação.

Dados do Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2008), mostram que haverá um forte aumento da produção de GLP, principalmente em virtude do acréscimo do volume de gás natural (GN) a ser processado. As correntes de propano e butano, que compõem o GLP, também são extraídas nas Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN), quando o GN é tratado. A produção de GN consolidará seu aumento, principalmente, em função da entrada em operação dos campos pertencentes a área denominada pré-sal.

A tabela a seguir apresenta uma compilação dos dados de produção de GLP (total, produzido pelas refinarias e produzidos pelas UPGNs), dados de projeção da demanda projetados pela EPE (2008), e um comparativo informando, para os anos em questão, o quanto o consumo de cada cenário simulado representará da demanda total projetada.

Tabela 76: projeção de produção e demanda de glp

GLP		2015	2020	2025	2030
Produção Refinarias	m^3/dia	38.840	35.046	25.990	23.128
Produção UPGNs	m^3/dia	11.160	23.842	38.555	60.261
Produção Total	m^3/dia	50.000	58.888	64.545	83.389
Demanda Total	m^3/dia	47.750	56.562	64.219	72.730
%Demanda Total					
Pessimista	%	1,4%	4,2%	7,3%	NC
Continuidade	%	1,3%	4,8%	10,0%	NC
Otimista	%	1,4%	5,6%	12,9%	NC

Fonte: EPE, 2008

Conforme a tabela 5, o momento mais crítico na simulação dos cenários refere-se ao consumo máximo de GLP projetado no cenário otimista, que representará 12,9% da demanda total prevista. Importante ressaltar que o cálculo é simulado considerando que todas as unidades produtoras de alumina optem pela substituição total do óleo combustível por GLP simultanea-

mente. Como as possibilidades de tal fato ocorrer são relativamente baixas, pode-se supor que seja possível o suprimento de GLP.

CARVÃO VEGETAL (CV)

Conforme dados do BEN 2011, a produção de carvão vegetal nos últimos 10 anos apresenta média de 8,58 milhões de toneladas. O consumo acompanha o volume produzido, não havendo nem importação nem exportação do energético, em quantidades significativas.

O comportamento da produção de CV nos últimos 10 anos apresentou capacidade máxima de 10,05 milhões de toneladas em 2004 e 9,89 milhões de toneladas em 2008. Ou seja, com tais dados é possível concluir que há espaço para que ocorra um novo aumento da produção, caso haja demanda para tal.

O Plano Decenal de Energia (2010) aponta que, para o período de 2010 a 2015, haverá um crescimento médio anual de 7%, o que acarretaria em uma demanda de 11,2 milhões de toneladas em 2015. Já para o período entre 2015 a 2020 a previsão é de que o incremento ocorra de forma mais suave, apresentando média de crescimento anual de 1,3%. Com isto, a demanda para 2020 seria em torno de 12 milhões de toneladas. O crescimento médio para o período apresenta-se como 4,2% (entre 2010 a 2020). Utilizando este crescimento médio para projetar a demanda de 2025, conclui-se que esta apresentaria o valor de 14,4 milhões de toneladas.

Nos três cenários analisados, o consumo de CV atingirá seu valor máximo no ano de 2025, distribuídos da seguinte forma: pessimista com consumo de 1,59 milhão de toneladas (9,94% da demanda prevista); continuidade com consumo de 2,2 milhões de toneladas (13,25% da demanda prevista); e por fim, o otimista com consumo de 2,82 milhões de toneladas (16,37% da demanda prevista).

Como o maior consumidor do CV é o setor industrial e normalmente a produção é adequada ao padrão de consumo, há possibilidade de que as empresas produtoras de alumina possam ter sua demanda atendida.

Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior