

Estudo de Caso das Emissões de Gases De Efeito Estufa na Produção Primária de Alumínio

Laura Albuquerque

Monografia em Engenharia Química.

Orientadores:

**Aline Sarmiento Procópio, DSc.
Hubmaier Lucas de Andrade, MSc.**

Março de 2008.

ESTUDO DE CASO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE ALUMÍNIO

Laura Albuquerque

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovador por:

Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc.

Maria Antonieta P. Gimenes Couto, D.Sc.

Suzana Borschiver, D.Sc.

Orientador por:

Aline Sarmiento Procópio, DSc.

Hubmaier Lucas de Andrade, MSc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Março de 2008

Albuquerque, Laura.

Estudo de Caso das Emissões de Gases de Efeito Estufa na Produção Primária de Alumínio, Laura Albuquerque, Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2008.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2008

Orientadores: Aline Sarmiento Procópio e Hubmaier Lucas de Andrade

1. Inventário, 2. Gases de Efeito estufa, 3. Alumínio, 4. Monografia-(Graduação UFRJ/EQ) 5. Aline Sarmiento Procópio e Hubmaier Lucas de Andrade I. Estudo de Caso das Emissões de Gases de Efeito Estufa na Produção Primária de Alumínio

Dedicatória

Dedico este trabalho ao atual desafio encontrado pela sociedade para tratar a questão multidisciplinar que envolve as mudanças climáticas.

Dedico também aos futuros colegas que possam se interessar em atuar e agir neste abrangente tema e aos que poderão usufruir destes tipos de cálculo para propor medidas mitigadoras de emissão de gases de efeito estufa.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar aos que me proporcionaram a oportunidade de estudar na UFRJ, meus pais, Elvira e Marcos (*in memoriam*), meus maiores amores.

Em segundo lugar aos que no Rio me acolheram, meus tios, Juliana e Paulo Fernando.

Agradeço também ao Paulo Souza, meu supervisor na Vale. Com ele tive o primeiro contato e envolvimento com o tema participando do desenvolvimento do Inventário Corporativo de Emissões Diretas da Companhia Vale do Rio Doce. Foi quem me indicou e orientou as primeiras bibliografias neste tema, quando pude perceber sua importância e abrangência.

Agradeço a Vale por me proporcionar a oportunidade de aprender seus processos e contribuir no projeto de desenvolvimento do seu inventário de gases de efeito estufa, permitindo assim que eu agregasse cada vez mais conhecimento por meio do seu Programa de Estágio.

Agradeço também a professora Aline por me orientar nesse longo e delicado caminho da monografia, sem sua atenção seria mais difícil ordenar as idéias.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos a obtenção de grau de Engenheiro Químico.

ESTUDO DE CASO DAS EMISSÕES DIRETAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE ALUMÍNIO

Laura Albuquerque

Dezembro, 2007

Orientador responsável: Prof. Aline Sarmiento Procópio, DSc.

Outros orientadores: Prof. Hubmaier Lucas de Andrade, MSc.

Devido à crescente pesquisa e polêmica em torno do aumento significativo das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, governos e academia vêm discutindo diversas ações e caminhos para se mitigar os impactos que podem ocorrer. Este trabalho apresenta como as indústrias estão inseridas no contexto das mudanças climáticas e o que se espera delas neste desafio. Uma das medidas iniciais é conhecer o quanto se emite. Conseqüentemente, o caminho para essa resposta está na realização de um inventário de gases de efeito estufa, de empresas e países.

Para se colocar em prática essa medida inicial algumas diretrizes foram criadas para que todos os inventários de emissões de gases de efeito estufa pudessem ser comparados entre si. Este trabalho explora como os cálculos que compõem o inventário devem ser realizados. Explora também as metodologias utilizadas empregando os termos adequados.

Assim, para ilustrar o desenvolvimento de um inventário de emissões de gases de efeito estufa, foi realizado um estudo de caso das emissões diretas desses gases em uma suposta fábrica de alumínio. Um mini inventário como este compõe toda parte inicial da elaboração de inventários nacionais ou corporativos desses gases.

SUMÁRIO

Capítulo I - Introdução	1
I.1 Panorama das Mudanças Climáticas.....	1
I.2 As Mudanças Climáticas e suas Conseqüências	5
I.3 Inventários de Gases de Efeito Estufa face às Mudanças Climáticas.....	12
I.4 Referências para Inventários	13
I.5 Tendências e Novas Políticas	15
Capítulo II - Objetivo	17
Capítulo III – Fundamentação Teórica	18
III.1 Termos Utilizados em Cálculos de Emissão de GEE	18
III.2 Princípios	20
III.3 Quantificação de Emissões de GEE	21
Capítulo IV – Metodologia para Cálculos de Emissão	25
IV.1 Consumo de Combustíveis Fósseis.....	26
IV.1.1 Fontes Estacionárias.....	27
IV.1.2 Fontes Móveis.....	31
IV.2 Produção Primária de Alumínio	33
IV.3 Consumo de Energia Elétrica	37
IV.4 Estudo de Caso	39
Capítulo V – Resultados.....	42
V.1 Cálculos com Combustíveis Fósseis	42
V.2 Produção Primária de Alumínio.....	44
V.3 Consumo de Energia Elétrica.....	45
V.4 Emissões totais da fábrica de alumínio	45
Capítulo VI – Conclusões	50
Anexo 1	52
Referências	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Total das emissões de dióxido de carbono das Partes do Anexo I em 1990, para os fins do artigo 25 do Protocolo de Quioto	Página 2
Tabela 2	Lista de Gases de Efeito Estufa – Anexo A do Protocolo de Quioto	Página 6
Tabela 3	Valores de referência para Potencial de Aquecimento Global	Página 20
Tabela 4	Parâmetros e fatores de emissão padrão para combustão em fontes estacionárias e em fontes móveis	Página 32
Tabela 5	Fatores de emissão padrão para produção de Alumínio e suas respectivas incertezas	Página 37
Tabela 6	Fatores de Emissão mensal de CO ₂ devido ao consumo de energia elétrica na região sudeste, registrados no ano de 2006	Página 38
Tabela 7	Consumo mensal de energia elétrica em MWh	Página 40
Tabela 8	Resultados das emissões do trabalho	Página 47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Concentração atmosférica de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso nos últimos 10 mil anos (quadros grandes) e desde 1750 (quadros inseridos)	Página 9
Figura 2	Anodo pré-cozido de coque de petróleo e piche	Página 33
Figura 3	Representação do Efeito anódico	Página 34
Figura 4	Divisão da influência de cada um dos GEE na suposta fábrica de alumínio	Página 45
Figura 5	Divisão da influência dos perfluorcarbonos e CO ₂ exclusivamente na produção de alumínio.	Página 47
Figura 6	Perfil das emissões de GEE no estudo de caso da fábrica de alumínio	Página 48
Figura 7	Perfil das emissões de GEE por categoria de atividade de emissão no estudo de caso da fábrica de alumínio	Página 49

NOMENCLATURA

GEE	Gases de efeito estufa
ONU	Organização das Nações Unidas
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
FCCC	Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
ONG	Organização Não-Governamental
RECE	Relatório Especial sobre Emissões do IPCC
ISO	Organização Internacional para Padronização
CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₄	Metano
PFCs	Perfluorcarbonos
C	Carbono
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SIN	Sistema Interligado Brasileiro
COVs	Carbonos Orgânicos Voláteis
OECD	Organização de Cooperação Econômica e de Desenvolvimento
IPCC-NGGIP	Programa do IPCC pra Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa
IEA	Agência Internacional de Energia
COP13	13ª Conferência das Partes

Capítulo I - Introdução

I.1 Panorama das Mudanças Climáticas

O mundo corporativo é rodeado de tendências e questões da atualidade. Desafios como a responsabilidade social e a crescente consciência da responsabilidade ambiental são realidade. Observando a tendência mundial em torno do fenômeno do aquecimento global e as políticas em torno desse tema, este novo desafio salta aos olhos para as corporações, principalmente para as grandes emissoras de GEE (gases de efeito estufa) devido à altas demandas de energia e de combustíveis de origem fóssil para a realização de suas atividades produtivas.

Uma das primeiras ações diplomáticas em torno do aquecimento global foi o Tratado de Quioto ratificado em fevereiro de 2005. O Tratado de Quioto tem por objetivo reduzir as emissões de GEE de países do Anexo I em 5,2% dos níveis de emissão em relação ao ano de 1990. Essa redução será avaliada durante os anos de 2008 a 2012. Esse período refere-se ao primeiro período de compromisso do Tratado. O Tratado se fundamenta basicamente em dois princípios: o “Princípio da Precaução” e o “Princípio da Responsabilidade Comum, porém Diferenciada”.

O “Princípio da Precaução”, semelhante ao princípio básico do Direito Ambiental, declara que a falta de plena certeza científica não deve ser usada como argumento para se postergar medidas quando houver ameaça de dano sério ou irreversível ao meio ambiente e sociedade. E o “Princípio da Responsabilidade Comum, porém Diferenciada” atribui a liderança pelo movimento de mudança do clima aos países desenvolvidos que emitem GEE tempos antes dos países em desenvolvimento começarem a emitir. A Tabela 1 contém a lista dos países do Anexo I e suas respectivas emissões. Apesar dos países da Tabela 1 fazerem parte do Anexo I do Tratado de Quioto, nem todos ratificaram o Tratado, por exemplo, os Estados Unidos.

Tabela 1: Total das emissões de dióxido de carbono das Partes do Anexo I em 1990, para os fins do artigo 25 do Protocolo de Quioto.

Fonte: MCT, 2007a

Parte	Emissões(Gg)	Porcentagem
Alemanha	1.012.443	7,4
Austrália	288.965	2,1
Áustria	59.2	0,4
Bélgica	113.405	0,8
Bulgária	82.99	0,6
Canadá	457.441	3,3
Dinamarca	52.1	0,4
Eslováquia	58.278	0,4
Espanha	260.654	1,9
Estados Unidos da América	4.957.022	36,1
Estônia	37.797	0,3
Federação Russa	2.388.720	17,4
Finlândia	53.9	0,4
França	366.536	2,7
Grécia	82.1	0,6
Hungria	71.673	0,5
Irlanda	30.719	0,2
Islândia	2.172	0,0
Itália	428.941	3,1
Japão	1.173.360	8,5
Letônia	22.976	0,2
Liechtenstein	208	0,0
Luxemburgo	11.343	0,1
Mônaco	71	0,0
Noruega	35.533	0,3
Nova Zelândia	25.53	0,2
Países Baixos	167.6	1,2
Polônia	414.93	3,0
Portugal	42.148	0,3
Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte	584.078	4,3
República Checa	169.514	1,2
Romênia	171.103	1,2
Suécia	61.256	0,4
Suíça	43.6	0,3
Total	13.728.306	100,0

Para todos os países integrantes do Tratado de Quioto tornou-se obrigatório realizar um inventário nacional de emissões e remoções de GEE. Após realizado, deve-se apresentá-los à ONU (Organização das Nações Unidas) e atualizá-los regularmente. No caso dos países pertencentes ao Anexo I, a atualização deste inventário nacional deve ser anual (MCT, 2007b). O programa da ONU responsável pelo meio ambiente é o UNEP (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) que junto a OMM (Organização Mundial de Meteorologia) estabelecem o IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas).

O IPCC é o corpo científico responsável pelos estudos e diretrizes no tema de mudanças climáticas, composto por centenas de cientistas de todo o mundo, foi estabelecido com o objetivo de fornecer informações sobre mudanças climáticas aos tomadores de decisão e outros interessados, como representantes de governos e do setor privado. Para isso seu papel fundamental é prover informação de forma compreensível, objetiva, aberta e transparente no que há de mais recente na produção científica deste tema disponível pelo mundo, produção essa que seja relevante para o entendimento das mudanças climáticas induzidas pelo homem, seus potenciais impactos, adaptações e possíveis mitigações. Todas as publicações são de alta qualidade científica e possuem uma ampla cobertura geográfica (IPCC, 2007).

Medidas como o Tratado de Quioto e todas as discussões e decisões diplomáticas que o sucedem refletem, conseqüentemente, em blocos de mercado como a Comunidade Econômica Européia, em países desenvolvidos como o Japão e em países em desenvolvimento como o Brasil (exemplificado pelo surgimento das negociações em torno dos mecanismos de mercado, ilustrado pelo MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo). As repercussões nos blocos de mercado ocorrem devido ao objetivo do Tratado afetar diretamente a produção industrial dos países, a geração do produto interno bruto e assim, sua economia.

Hoje, com o desenvolvimento dos estudos climáticos, principalmente pelos publicados pelo IPCC, já se pode ter a plena certeza científica das causas e das conseqüências do aquecimento global e da existência da influência antrópica neste fenômeno (Alley, 2007). Com esta certeza, surgem novas diretrizes e um cenário onde as medidas administrativas de redução das emissões de GEE tendem a ser cada vez mais

restritivas, tanto para os países quanto para as grandes corporações emissoras de GEE. É importante ressaltar que as corporações emissoras são fiscalizadas constantemente por seus investidores, por seus acionistas, por ONGs (Organização Não-Governamental), pela imprensa e pela sociedade e que são sem dúvida as reais responsáveis pela produção industrial dos países.

Visto que a redução de emissões de GEE está diretamente ligada a restrições de produção e a mudança de padrão de consumo e que isto gera conseqüências para economia de um país, é cada vez mais importante, seja por parte do governo ou por parte do setor privado, que haja um posicionamento estratégico neste tema.

Visto também que o setor industrial é visado como um grande vilão pelo uso de recursos naturais e principalmente pelo alto consumo de combustíveis fósseis, percebe-se ser fundamental que se conheçam as emissões de GEE de uma corporação claramente. Ou seja, uma corporação deve estudar seus processos produtivos para que suas fontes de emissões sejam identificadas, devendo ainda calcular suas emissões para que estas sejam quantificadas, documentando seus resultados.

Deve-se então, como primeiro passo para a redução de emissões de GEE e para cumprimento dos acordos diplomáticos estabelecidos entre os países, realizar um inventário de emissões de GEE. Um inventário de GEE consiste em uma lista de fontes da organização que resultem em emissões quantificadas de GEE, com expressão de incerteza (ISO 14064-1). O inventário de GEE é uma excelente ferramenta para gestão das emissões e, uma vez munido dos resultados dessas emissões, se faz possível estudar potenciais medidas de redução de emissão por meio de: gestão de uso e demanda de energia; programas de eficiência energética; desenvolvimento tecnológico ou processual; captura ou estoque de GEE; troca ou substituição de combustíveis.

Os tomadores de decisão na corporação são os usuários imediatos do inventário. Entretanto, uma vez público, o inventário poderá ser utilizado por governos, mercado, investidores, sócios, clientes, fornecedores, academia, entre outros (ISO 14064-1).

Partindo do princípio que inventários são, em geral, realizados por equipes de profissionais e compostos por inúmeros cálculos de emissão, a proposta para este trabalho é abordar alguns cálculos de emissões de GEE em diferentes etapas de processos produtivos. Nenhuma proposta de redução será feita, tampouco um inventário completo de todas as

emissões de uma corporação. O trabalho visa mostrar algumas das metodologias de cálculos de emissão utilizadas hoje pelas corporações e pelo mercado ascendente de carbono.

I.2 As Mudanças Climáticas e suas Conseqüências

Ao tratar da mudança do clima se faz necessário definir clima. Segundo o IPCC, clima é geralmente definido como tempo meteorológico médio ou descrição estatística em termos da média e da variância, de quantidades relevantes e mudanças no tempo meteorológico num período de tempo que vai de meses a milhões de anos. O período de tempo clássico é de 30 anos como definido pela OMM e essas quantidades relevantes citadas são geralmente variações de parâmetros de superfície como temperatura, precipitação e vento. Em um sentido mais amplo é o estado do sistema meteorológico, incluindo a análise estatística (IPCC, 2007a).

Já para mudança climática são duas as definições (Albritton, 2001): a primeira, do IPCC, que diz que mudança climática é qualquer mudança no clima ao longo do tempo, por variabilidade natural ou conseqüência de atividade antrópica; e a segunda, do FCCC (Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas), onde mudança climática refere-se a qualquer mudança no clima que possa ser atribuída direta ou indiretamente à atividade antrópica que altere a composição atmosférica global e seja adicional à variabilidade climática natural, ambas observadas em um período de tempo comparável. Entender a interdisciplinaridade da mudança climática é um dos maiores desafios enfrentados atualmente pela comunidade científica, por governos e setores produtivos.

O efeito estufa, além de ser o fenômeno responsável pela manutenção da temperatura média do planeta, o que é de fundamental importância para manutenção da vida, é também um dos diversos fenômenos naturais responsável pelo equilíbrio climático da Terra. Os principais fatores não-antrópicos que afetam o clima são a radiação solar e as erupções vulcânicas.

Assim como os planetas do sistema solar, a Terra também recebe radiação proveniente do Sol. Parte dessa radiação é absorvida e redistribuída pela superfície, oceanos e atmosfera e parte é re-emitida para o espaço. A absorção e a redistribuição atmosférica da radiação solar são realizadas na faixa de radiação do infravermelho. Tal papel de absorção e

redistribuição é de competência dos GEE que estão naturalmente presentes na atmosfera. Dessa forma a Terra mantém seu equilíbrio climático (Guia, 2002)

Os GEE, além de presentes naturalmente na atmosfera terrestre e sendo participantes de ciclos biogeoquímicos, possuem origem também em certas atividades antrópicas (Tabela 2). Os principais GEE são o CO₂, o CH₄, o N₂O, os PFCs, os HFCs e o SF₆, sendo a queima de combustíveis fósseis a principal fonte de emissão de CO₂, a modificação e uso da terra a principal fonte de emissão de CH₄ e o uso agrícola de fertilizantes químicos a principal fonte de emissão de N₂O.

Tabela 2: Lista de Gases de Efeito Estufa – Anexo A do Protocolo de Quioto

Fonte: Adaptado de http://www.onu-brasil.org.br/doc_quioto2.php

ANEXO A	
Gases de efeito estufa	
Dióxido de carbono (CO ₂)	
Metano (CH ₄)	
Óxido nitroso (N ₂ O)	
Hidrofluorcarbonos (HFCs)	
Perfluorcarbonos (PFCs)	
Hexafluoreto de enxofre (SF ₆)	
Setores/categorias de fontes	
Energia	Processos industriais
Queima de combustível	Produtos minerais
Setor energético	Indústria química
Indústrias de transformação e de construção	Produção de metais
Transporte	Outras produções
Outros setores	Produção de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre
Outros	Consumo de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre
Emissões fugitivas de combustíveis	Outros
Combustíveis sólidos	Resíduos
Petróleo e gás natural	Disposição de resíduos sólidos na terra
Outros	Tratamento de esgoto
Uso de solventes e outros produtos	Incineração de resíduos
Agricultura	Outros
Fermentação entérica, Tratamento de dejetos, Cultivo de arroz, Solos agrícolas, Queimadas prescritas de savana, Queima de resíduos agrícolas, Outros.	

A partir do contínuo desenvolvimento da sociedade e da intensa utilização de combustíveis fósseis após a Revolução Industrial em inúmeros processos, observa-se que a concentração desses GEE na atmosfera tem aumentado, intensificando o fenômeno do efeito estufa (Alley, 2007). A intensificação do efeito estufa gera um aquecimento atmosférico adicional que resulta no aumento da temperatura média global do planeta. Este aquecimento adicional da atmosfera é o aquecimento global, resultado do desequilíbrio do balanço energético da Terra.

As mudanças na quantidade de GEE e aerossóis da atmosfera, na radiação solar e nas propriedades da superfície terrestre alteram, como mencionado, o equilíbrio energético do sistema climático. Essas mudanças são expressas em termos do forçamento radiativo. O forçamento radiativo é usado para comparar a forma como os fatores humanos e naturais provocam o aquecimento ou o resfriamento do clima global (Alley, 2007). Desde a publicação do terceiro relatório do IPCC, em 2001 até o quarto relatório, mais recente e publicado em 2007, novas observações e a respectiva modelagem dos gases de efeito estufa, atividade solar, propriedades da superfície terrestre e alguns aspectos dos aerossóis promoveram melhorias nas estimativas quantitativas do forçamento radiativo. Para melhor esclarecer, o forçamento radiativo é uma medida da influência de um fator na alteração do equilíbrio da energia que entra e sai do sistema Terra-atmosfera e é um índice da importância do fator como possível mecanismo de mudança do clima. O forçamento positivo tende a aquecer a superfície, enquanto o forçamento negativo tende a esfriá-la (Alley, 2007); no caso do aquecimento global o resultado dos forçamentos radiativos é positivo.

Os valores conhecidos pelo IPCC do forçamento radiativo são para 2005, relativos às condições pré-industriais definidas em 1750, e são expressos em watts por metro quadrado (W/m^2) (Alley, 2007). A Figura 2 apresenta em seu eixo lateral direito, nos painéis grandes, o forçamento radiativo do CO_2 , CH_4 e N_2O . Também se pode observar o aumento significativo das concentrações desses gases nos painéis pequenos, principalmente depois de 1800.

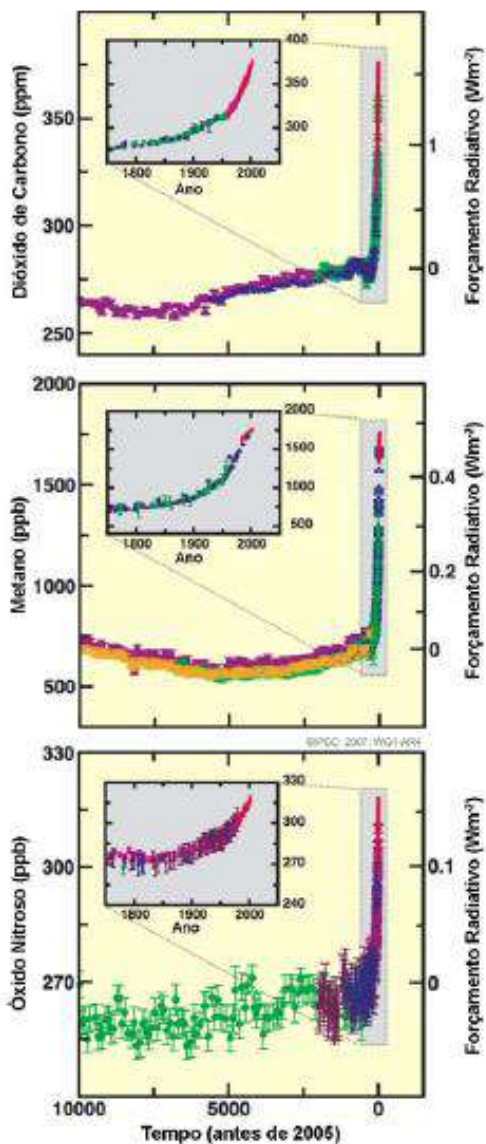
Pesquisadores do IPCC estimam que a temperatura média global do planeta aumentou em $0,6 \pm 0,2^\circ C$ durante o século XX (Alley, 2007). Para a estimativa da temperatura média do planeta o IPCC utiliza nível de significância estatística de 5% e

índice de confiabilidade de 95%. Dentre as mais recentes observações do IPCC destacam-se:

- O dióxido de carbono é o gás de efeito estufa antrópico mais importante. A concentração atmosférica global de dióxido de carbono aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005. A concentração atmosférica de dióxido de carbono em 2005 ultrapassa em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm), como determinado a partir de testemunhos de gelo. A taxa de aumento da concentração anual de dióxido de carbono foi mais elevada durante os últimos 10 anos (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano) do que desde o início das medições atmosféricas diretas contínuas (média de 1960 a 2005: 1,4 ppm por ano), embora haja variações de um ano a outro nas taxas de aumento. A Figura 1 a seguir ilustra graficamente o aumento de das concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O.
- A principal fonte de aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono desde o período pré-industrial se deve ao uso de combustíveis fósseis, com a mudança no uso da terra contribuindo com uma parcela significativa, porém menor.
- A concentração atmosférica global de metano aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 715 ppb para 1732 ppb no início da década de 90, sendo de 1774 ppb em 2005. A concentração atmosférica de metano em 2005 ultrapassa em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (320 a 790 ppb), como determinado com base em testemunhos de gelo.
- A concentração atmosférica global de óxido nitroso aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 270 ppb para 319 ppb em 2005.

Com novos estudos e o desenvolvimento do quarto relatório, o IPCC tem hoje uma melhor compreensão das influências antrópicas no aquecimento global e esfriamento do clima, o que promove uma certeza muito grande, ou seja uma chance 9 em 10 de se estar correto, de que o efeito líquido global das atividades humanas foi de aquecimento. Projeta-se também para as próximas duas décadas um aquecimento de 0,2°C por década para uma faixa de cenários de emissões do RECE (Relatório Especial sobre Emissões do IPCC). A contínua emissão de GEE nas taxas atuais ou acima delas acarretaria um aquecimento

adicional e induziria muitas mudanças no sistema climático global no século XXI, as quais seriam muito provavelmente¹ maiores do que as já observadas no século XX.



Fonte: Adaptado de IPCC, 2007.

Figura 1: Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nítrico nos últimos 10 mil anos (quadros grandes) e desde 1750 (quadros inseridos). As medições são obtidas a partir de testemunhos de gelo (símbolos com diferentes cores para os diferentes estudos) e amostras atmosféricas (linhas vermelhas). Os forçamentos radiativos correspondentes são mostrados nos eixos do lado direito dos painéis grandes

¹ Define-se muito provavelmente como chance maior que 90% de ocorrer.

As pesquisas científicas mostram diversas conseqüências do aquecimento global que, direta ou indiretamente, afetam a disponibilidade de recursos, a produção e o mercado. O aquecimento global interfere diretamente no clima e em sistemas a ele relacionados como o ciclo da H₂O, o ciclo do CO₂, ecossistemas, cadeias alimentares, agricultura e saúde humana, além de alterações de intensidade em fenômenos de interações entre oceanos e atmosfera como o El Niño e La Niña (Guia, 2002).

Por exemplo, as geleiras estão derretendo, desde áreas montanhosas aos pólos da Terra. No Ártico é provável² que tenha ocorrido uma redução de 40% na espessura da camada de gelo durante as temporadas verão-outono nas últimas décadas (Albritton, 2001). Os Alpes Europeus, até o final do século, devem perder metade de suas geleiras. Apesar dessas evidências, vale ressaltar que nem todo o derretimento de gelo contribui para o aumento do nível do mar. Apenas as camadas de gelo localizadas em áreas continentais produzem tal efeito, ao contrário das geleiras que estão sobre os oceanos. É o caso da Antártida, que reúne 90% de todo o gelo do planeta e o derretimento completo de sua porção ocidental poderia causar um aumento de cinco metros no nível do mar.

O aumento da temperatura da atmosfera implica na absorção de calor pelos oceanos, levando à expansão das águas e aumento do nível do mar. Nos últimos 100 anos o nível do mar aumentou entre 10 e 20 cm (Albritton, 2001). O IPCC prevê para 2080 um aumento do nível do mar de até 70 cm, em um cenário de emissões elevadas. Isso significa o comprometimento de inúmeras áreas costeiras e ilhas ao redor do globo, que já vêm sofrendo inundações nos últimos anos e em alguns casos já provoca a emigração de seus habitantes. Ecossistemas costeiros e oceânicos poderão ser afetados, como manguezais e recifes de corais alterando a produtividade biológica, disponibilidade de nutrientes e as funções dos ecossistemas. O avanço da água do mar também pode levar à contaminação da água doce inviabilizando atividades de produção e até a sobrevivência em algumas regiões.

Recentemente inúmeros casos de enchentes drásticas têm ocorrido ao redor do globo, com resultados terríveis para as populações afetadas (Guia, 2002). Não há uma comprovação de que esses fenômenos tenham sido causados por mudanças climáticas, mas o aumento da ocorrência das grandes enchentes é visto como uma evidência. Alterações no

² Define-se provável como chance maior que 66% de ocorrer.

clima podem contribuir para isso, pois geram aumento na precipitação de chuvas e o aumento do nível do mar. Além disso, o desmatamento acaba intensificando as enchentes, uma vez que uma floresta removida significa perda de capacidade de absorção de água e umidade pela natureza (Guia, 2002).

O aumento da temperatura média do planeta deve gerar em muitos países um clima de temperaturas mais elevadas, com verões mais quentes e invernos mais amenos, e com presença de chuvas. Com invernos mais amenos, há probabilidade de um decréscimo de doenças e mortes ligadas ao frio. Entretanto, há o risco de que bactérias não seriam mais eliminadas durante os invernos, permitindo que se espalhem mais facilmente. Além disso, ondas de calor podem aumentar o número de mortes por desidratação e a exposição a níveis mais altos de raios ultravioleta pode levar a um aumento de mortes por câncer de pele, de casos de catarata e de intoxicação alimentar. Deve-se salientar que, doenças como cólera, dengue, febre amarela e malária que fazem parte hoje de regiões quentes podem avançar para outros locais do globo onde a temperatura média estará mais alta. O excesso de calor também pode influenciar o aumento de casos de pneumonia, gripe e bronquite, entre outros males (Guia, 2002).

Para a agricultura, as mudanças climáticas podem significar uma alteração geográfica dos locais onde muitas plantações são hoje desenvolvidas. Fatores como verões mais secos e quentes e períodos concentrados de chuvas intensas podem afetar a qualidade e a produtividade das plantações e também a criação de gado. Isso pode provocar ainda, em algumas regiões, mudança dos tipos de cultivo plantados. Uma série de novas técnicas de irrigação, plantio e colheita deverão ser desenvolvidas para contornar os obstáculos impostos pelas mudanças climáticas. Como citado anteriormente, um eventual aumento do nível do mar pode levar à salinização e contaminação de água doce, em especial próximo às áreas costeiras, comprometendo a produção agrícola, além de uma forte ameaça em relação ao aumento de pragas em as plantações, devido ao aumento de calor (Guia, 2002).

Em relação a ecossistemas, animais e plantas estarão ameaçados pela alteração do clima. Degradação de habitat, composição e distribuição geográfica dos ecossistemas mudarão com as novas condições de clima. Por exemplo, com menos neve e mais chuva nos invernos causando temperaturas mais quentes ocorrerá uma alteração de correntes de ar prejudicando a migração de pássaros. As áreas mais ameaçadas são os pólos da Terra, onde

a cobertura de gelo, componente básico dos ecossistemas locais, está em processo de redução (Guia, 2002).

I.3 Inventários de Gases de Efeito Estufa face às Mudanças Climáticas

Como visto neste capítulo, no item I.1, há uma forte demanda para governos e empresas se posicionarem estrategicamente em relação às mudanças climáticas e o primeiro passo para esse posicionamento é a realização um inventário de emissões de GEE, uma excelente ferramenta para gestão das emissões. O inventário de emissões de GEE prepara uma empresa ou país para novas políticas climáticas internacionais, nacionais, regionais ou locais. Assim, a realização de um inventário de emissões de GEE inclui os seguintes objetivos (GHG Protocol, 2008b):

a) Gerir os riscos e identificar oportunidades de redução

Os riscos relacionados às emissões de GEE estão ligados à obrigatoriedade ou não de se cumprir metas de redução. Podem variar com o surgimento de novas regulamentações e conhecendo-se o perfil das emissões torna-se mais fácil administrar novas obrigatoriedades. Num contexto preventivo de riscos, o que é medido é gerido, e o registro das emissões ajuda a identificar as oportunidades de redução de emissão mais eficazes. Conhecer as emissões também é um pré-requisito para se estabelecer uma meta interna ou externa de redução, o que ilustra uma visão mais consciente do ponto de vista ambiental.

b) Relatórios públicos e participação em programas voluntários de GEE

Como visto no item I.1, as corporações emissoras são fiscalizadas constantemente por seus investidores, por seus acionistas, por ONGs, pela imprensa e pela sociedade. Elaborar relatórios públicos e divulgar sua participação em programas voluntários de GEE são exemplos de como se mostrar ativo na questão das mudanças climáticas.

Da mesma forma que empresas divulgam relatórios financeiros anuais, divulgar suas emissões voluntariamente nos relatórios de sustentabilidade também demonstra transparência. A divulgação de emissões de GEE tem aparecido freqüentemente como um indicador de sustentabilidade.

c) Participação em programas de relatório obrigatório

Com base no Protocolo de Quioto os países do Anexo I possuem a obrigatoriedade de reduzir suas emissões e são cobrados por isso pelo governo. Existem programas de relatório em nível nacional, regional e local.

d) Participação em mercados GEE

O mercado de GEE se baseia na troca de emissões entre empresas ou países, é uma atividade que está amadurecendo, mas que está crescendo continuamente. A participação nesses mercados pode ocorrer de forma voluntária ou obrigatória. Participar de mercados GEE é uma forma de apoiar os programas comerciais de GEE. Quando os programas são nacionais e quando as trocas de emissões ocorrem dentro dos países e não entre países, a participação no mercado GEE promove suporte e fortalece o mercado que é emergente, mas fermentado. É uma alternativa para administrar as emissões.

e) Reconhecimento pelas ações voluntárias antecipadas

Por meio de ações voluntárias antecipadas de redução (contabilizadas e registradas) é provável que ao surgir uma nova regulamentação de redução a ação voluntária antecipada seja levada em consideração.

I.4 Referências para Inventários

Existem três grandes referências bibliográficas para o desenvolvimento de um inventário de emissões de gases de efeito estufa. A primeira delas são as Diretrizes do IPCC de 2006 (Diretrizes do IPCC de 2006 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa), elaborado pelo IPCC para desenvolvimento de inventários nacionais (IPCC, 2007c). A segunda é a norma ISO 14064-1 de 2005, elaborada pela ISO (Organização Internacional para Padronização) uma entidade caracterizada pela elaboração de padronização e normalização de diversos países. E a terceira referência é o Protocolo GEE, parte do Protocolo de Iniciativa GEE, que é um programa dividido em duas normas: uma

para contabilização de emissões (Protocolo GEE) e outra para projetos de redução de emissões (Protocolo de Projetos GEE) (GHG Protocol, 2008b). O Protocolo GEE foi elaborado por uma parceria de diversas empresas, ONGs, governos e outros conveniados e pelo WRI (Instituto Mundial de Recursos) uma ONG ambiental norte-americana e pelo WBCSD (Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável) que consiste em uma coalisão de 170 empresas internacionais.

O Programa do IPCC pra Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC-NGGIP) iniciou-se em 1991 com colaboração da OECD (Organização de Cooperação Econômica e de Desenvolvimento) e da IEA (Agência Internacional de Energia). Em 1999 outras partes passaram a liderar o programa, que passou a ser sediado no Japão (IPCC, 2007c). Uma versão mais antiga das Diretrizes do IPCC foi publicada em 1996 (Penman, 2006) e outra versão atualizada foi publicada recentemente em 2006 (Penman, 2006). São publicações oficiais que apresentam como devem ser realizados os cálculos de emissões e remoções antrópicas de GEE dos países, e auxiliam estes países a cumprir a obrigação de reportá-las da mesma forma e nos mesmos moldes. Este documento é dividido em cinco longos volumes, sendo que o primeiro volume descreve os passos básicos para se desenvolver um inventário de emissões e remoções (Rypdal, 2006). O documento se baseia no entendimento dos autores sobre o conhecimento acumulado das experiências dos países desde 1980, quando os inventários nacionais começaram a surgir em um número significativo. Os outros volumes, do segundo ao quinto, oferecem diretrizes para estimar as emissões em diferentes setores da economia (Penman, 2006). Essas diretrizes serão utilizadas neste trabalho.

A norma ISO 14064-1, como o seu próprio título já esclarece, é um guia de especificação para o nível organizacional para quantificação e reporte de emissões e remoções de GEE. Foi preparado pelo comitê técnico ISO/TC207 de Gestão Ambiental, grupo de trabalho 05 em mudanças climáticas.

A elaboração do Protocolo GEE teve o objetivo de desenvolver um padrão de contabilização de emissões e reporte que fosse aceito e adotado internacionalmente. Ele inclui todos os seis GEE cobertos pelo tratado de Quioto. Foi publicado originalmente em inglês e traduzido para o português pelo Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável de Portugal (GHG Protocol, 2007b). Tem como objetivo também: ajudar

empresas a preparar seu inventário de GEE que represente uma contabilização real e justa de suas emissões por meio dos parâmetros de aproximação e dos princípios adotados; simplificar e reduzir os custos de compilar um inventário de GEE; ser capaz de prover informação que possa ser usada estrategicamente para gerir e reduzir emissões de GEE; aumentar a consistência e transparência dos programas de GEE entre as diversas empresas (GHG Protocol, 2007a).

É importante ressaltar que estas referências possuem as diversas metodologias de cálculo que serão utilizadas neste trabalho.

I.5 Tendências e Novas Políticas

Desde sua elaboração até os dias de hoje, o Tratado de Quito passou por diversas atualizações e até mesmo passou a ser visto muito mais como um marco para a campanha de conscientização da mudança do clima do que como uma ferramenta realmente eficaz em termos de contabilização. Hoje se discute o caminho que o Tratado terá pós-2012 quando acaba sua primeira fase de redução.

Novos acordos estão em andamento junto a novas discussões do que significará e será o Tratado de Quioto. Em dezembro de 2007 ocorreu a 13ª Conferência das Partes (COP13) da Convenção da ONU sobre mudança climática. A reunião aprovou o Mapa do Caminho de Bali, que estabelece um calendário de negociações até 2009 para construir o arcabouço legal de um tratado para o período após 2012, ano em que finda o Protocolo de Quioto, afastando o risco de o mercado de carbono ser interrompido (IPAM, 2008b).

Além disso, reconheceu, no âmbito do Protocolo de Quioto, a necessidade de os países desenvolvidos reduzirem suas emissões em 25% a 40% até 2020 em relação aos níveis de 1990, conforme recomendação do IPCC. Embora conste somente do rodapé do Mapa do Caminho aprovado em Bali, trata-se de um sinal importante de continuidade ao mercado de carbono e de aumento das metas de redução. Reconheceu-se, ainda dentro do Protocolo, o imperativo de reduzir as emissões globais em 50% sobre os níveis de 2000 até 2050. O Mapa do Caminho de Bali da Convenção, que, ao contrário do Protocolo de Quioto, inclui os EUA, estabelece que as metas dos países desenvolvidos no tratado pós-2012 deverão ser comparáveis ao esforço global de redução de emissões de gases de efeito

estufa. A decisão, em conjunto com os percentuais reconhecidos no âmbito de Quioto, deixa os EUA e demais países, que não integram o Protocolo, isolados e constrangidos. Na prática, obrigam-se a assumir metas comparáveis às demais nações que, por sua vez, reconheceram a necessidade de redução das emissões de 25% a 40% até 2020 para os países desenvolvidos e de 50% até 2050 globalmente (IPAM, 2008b).

Outro aspecto da reunião em Bali foi a inclusão do desmatamento como parte do tratado climático pós-2012. Ela foi apontada por representantes de ONGs no Brasil como a maior conquista do encontro, a REDD (Redução de Emissão de Desmatamento e Degradação) passará a vigorar como um instrumento legal. E assim como o MDL já faz, passará a fazer parte do linguajar de projetos e ações voltados ao tema. Apesar disto, a reunião em Bali também concluiu que em termos de mecanismos de transferência de tecnologia e verbas para países em desenvolvimento não ocorreram grandes mudanças (IPAM, 2008a).

Capítulo II - Objetivo

O principal objetivo deste trabalho é a realização de um estudo de caso de um inventário corporativo simplificado na produção primária de alumínio a fim de ilustrar e contextualizar, por meio de exemplos de cálculos de emissão, a importância de países e empresas realizarem seus inventários de emissões de GEE. Esse estudo de caso consiste no processo de produção do metal alumínio que consome como matéria-prima carbono, de atividades paralelas relacionadas consumidoras de combustíveis fósseis e no consumo de energia elétrica como força motriz para realização da eletrólise.

Para isso serão realizados:

- Determinação das fontes de emissão mais comuns encontradas na indústria, como o consumo de combustíveis, por exemplo.
- Cálculos de emissão de GEE atendendo a todos os princípios e critérios utilizados nas metodologias internacionais disponíveis.
- Avaliação dos resultados do estudo de caso mostrando que ao final de um inventário é possível gerir os riscos e identificar oportunidades de redução, elaborar relatórios públicos, participar em programas voluntários de GEE ou em programas de relatório obrigatório, participar de mercados GEE e obter reconhecimento pelas ações voluntárias antecipadas.

Capítulo III – Fundamentação Teórica

III.1 Termos Utilizados em Cálculos de Emissão de GEE

Na realização de cálculos de emissões de GEE alguns termos se fazem necessários e serão utilizados ao longo deste trabalho. Seguem abaixo as definições dos mesmos (ISO 14064-1).

a) Período Base

Período histórico específico para o propósito de comparação no tempo de emissões de GEE ou outras informações a elas relacionadas.

b) Dióxido de Carbono Equivalente (CO_{2e})

Unidade para comparação da força radiativa de um GEE ao dióxido de carbono. O dióxido de carbono equivalente é calculado usando a massa de um dado GEE multiplicada por seu potencial de aquecimento global.

c) Unidade Operacional

Instalação única, ou conjunto de instalações, ou processos produtivos, estacionários ou móveis, os quais podem ser definidos em um único limite geográfico, unidade organizacional ou processo produtivo.

d) Gás de Efeito Estufa (GEE)

Gás que absorve luz visível e infravermelha e re-emite radiação infravermelha em comprimento de ondas maiores.

e) Fonte de GEE

Unidade física estacionária ou móvel ou processo que emite GEE para a atmosfera. As fontes de GEE são aquelas associadas à queima de combustíveis fósseis, como o motor de veículo que queime combustível (diesel, gasolina, etc) ou o motor de uma aeronave que queime querosene, a queima de gás em um forno, a combustão de óleo em uma caldeira, a

queima de carvões, o consumo de anodos na fabricação de alumínio, degradação de biomassa dentre diversos outros.

f) Emissão de GEE

Massa total de um GEE lançado para a atmosfera em um período específico em toneladas de CO₂ equivalente.

g) Emissão direta de GEE

Emissão de GEE de fontes pertencentes ou controladas pela organização. Como já notificado anteriormente para efeito deste trabalho, apenas essas emissões serão contabilizadas.

h) Geração de energia

Emissões associadas à geração de energia, calor ou vapor consumido.

i) Dado da atividade envolvendo GEE

Quantidade de medida da atividade que resulta em uma emissão de GEE. Exemplos de dados de atividade incluem consumo de combustíveis (em litros), materiais produzidos (em toneladas por ano), serviço fornecido (em km percorridos).

j) Fator de Emissão de GEE

Média estimada da taxa de emissão de um dado GEE para uma dada fonte, relativa a unidades de atividade.

l) Relatório da Unidade sobre GEE

Documento com o objetivo de comunicar as informações da organização relacionadas a emissões de GEE.

m) Potencial de Aquecimento Global (PAG)

Fator que define o impacto radiativo de uma unidade de massa de um dado GEE em relação a uma unidade de massa de dióxido de carbono em um dado intervalo de tempo. A

Tabela 3 contém valores de referência para o Potencial de Aquecimento Global de diversos GEE. Os valores de PAG são atualizados com as novas publicações de relatórios do IPCC, cada relatório possui uma atualização, mas os valores utilizados internacionalmente para os cálculos são os do Segundo Relatório do IPCC, como definido na decisão 2 do Protocolo de Quioto (Protocolo GEE).

Tabela 3: Valores de referência para o Potencial de Aquecimento Global (PAG)

Fonte: Adaptado de (EPA, 2008)

Gás	PAG (horizonte de 100 anos)
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
CF ₄	6.500
C ₂ F ₆	9.200
C ₄ F ₁₀	7.000
C ₆ F ₁₄	7.400
SF ₆	23.900

n) Monitoramento

Medida contínua ou periódica das emissões de GEE ou de outros dados relacionados à GEE.

o) Incerteza

Parâmetro associado com o resultado da quantificação que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos à grandeza quantificada.

III.2 Princípios

Ao longo da norma ISO 14064-1, assim como ao longo das Diretrizes 2006 do IPCC e do Protocolo de GEE, alguns princípios são utilizados (ISO 14064-1; GHG Protocol, 2008b; Rypdal, 2006). A aplicação de princípios se mostra fundamental para

garantir que a informação relacionada à emissão de GEE seja resultado de um cálculo seguro e confiável. Os princípios formam a base que irá guiar a aplicação deste procedimento de cálculo. São eles:

- a) **Abrangência:** Todas as emissões relevantes de GEE são incluídas.
- b) **Consistência:** Comparações significativas entre informações relacionadas à GEE são possíveis.
- c) **Precisão:** Os ruídos e as incertezas são reduzidos até onde for praticável.
- d) **Transparência:** Informações suficientes e apropriadas são reveladas de modo a permitir a tomada de decisão com razoável confiança.
- e) **Relevância:** As fontes de GEE, os dados e as metodologias apropriados para as necessidades do usuário do inventário de GEE são selecionados e reportados.
- f) **Conservadorismo:** Consideração, valores e procedimentos conservativos são utilizados para se assegurar que as emissões não sejam subestimadas. Sempre que houver dúvida em adotar um valor maior ou menor de um dado, deve-se ser conservador e adotar o maior, por exemplo para as incertezas.

III.3 Quantificação de Emissões de GEE

Todos os passos para a identificação e quantificação de uma fonte de GEE são apresentados a seguir. Para a quantificação de emissões de GEE na organização devem-se utilizar as unidades do sistema internacional.

Para quantificar e documentar as emissões de GEE, geralmente, são seguidos os seguintes passos (ISO 14064-1):

- a) **Identificação de Fontes de GEE**

O responsável pelo cálculo deverá identificar e documentar as fontes de GEE que contribuem para as suas emissões para cada processo estudado. A identificação das fontes deve ser feita de acordo com a definição de fonte de emissão no item III.1 deste capítulo.

b) Seleção da Metodologia de Quantificação

As metodologias de quantificação empregadas devem ser as que diminuam as incertezas, melhorando a precisão do trabalho, gerando resultados reproduzíveis e consistentes. Segundo a ISO 14064, existem três tipos básicos de metodologias: a medida da emissão que se divide entre contínua e discreta; a calculada que pode ser um dado de atividade multiplicado pelo fator de emissão ou uso de modelos ou realização de um balanço de massa; ou ainda por combinação de cálculos e medidas.

A metodologia por medidas de emissão direta são, em geral, monitoramentos contínuos realizados por um sistema que registra os dados necessários, vazão total e concentração de gases na exaustão da tubulação ou de um duto. Quando essas medidas são realizadas para verificar ou calibrar um equipamento, quando são feitas esporadicamente, passam a ser medidas discretas ou descontínuas. A razão para a escolha de um ou outro método deve ser sempre explicitada e esta é determinada de acordo com os dados que estão disponíveis para o cálculo.

As Diretrizes do IPCC, assim como o Protocolo GEE, são as maiores fontes de metodologias disponíveis como já mencionado anteriormente no item I.3 do capítulo I. Fornecem, tanto para os países quanto para as empresas, quais são as fontes de emissões típicas para diversos setores industriais, o que facilita assim a realização da identificação das fontes de emissão. Fornecem ainda, caminhos diferentes para escolha da metodologia a ser adotada. De acordo com a qualidade e quantidade dos dados de atividade disponíveis para realização dos cálculos de emissão é possível apurar mais ou apurar menos a exatidão do cálculo.

Com esta variação de disponibilidade de dados, os cálculos nas Diretrizes do IPCC e no Protocolo GEE são divididos de acordo com a sua qualidade. Para isso, os cálculos foram divididos em classes de rigor, chamadas por eles e também neste trabalho, de *tiers*. Assim se percebe que quanto mais informação se tem sobre um determinado processo produtivo, mais rigoroso pode ser seu cálculo e mais próximo este estará da realidade.

Outra fonte de metodologias muito importante está disponível pelo FCCC. No endereço eletrônico do FCCC constam metodologias que foram desenvolvidas e aprovadas desde que projetos de redução de emissão começaram a ser implantados no contexto e nos moldes do Tratado de Quioto. Todas elas estão publicadas e permitem livre acesso. A maioria das metodologias empregadas é do tipo calculada, pois a metodologia por medidas de emissão são geralmente de alto custo e requerem uma rigorosa calibração e manutenção periódica.

c) Seleção e levantamento dos dados de atividades

A quantificação da emissão associada a uma fonte de GEE requer, em quase todos os casos, o levantamento cuidadoso dos dados da atividade envolvendo esta fonte. Quanto mais detalhado e disponível estiverem os dados, maior poderá ser a exatidão do cálculo, ou como visto, maior o *tier*.

A disponibilidade de dados é o que muitas vezes direciona o caminho para a metodologia de cálculo a ser aplicada.

d) Uso ou desenvolvimento dos fatores de emissão

Segundo a Norma ISO, se os cálculos utilizarem dados de atividade para quantificar as emissões de GEE, eles deverão então utilizar ou desenvolver fatores de emissão que: primeiro, sejam de fonte confiável (por exemplo, o Banco de dados de fatores de emissão do IPCC) ou obtidos de medidas experimentais de emissão nas fontes com instrumentos calibrados; segundo, sejam apropriados e atualizados para o cálculo (por exemplo, utilizar as unidades de medida equivalentes e também sempre considerar os dados de uma medição para período relativo em que foram realizadas; e finalmente que considerem a quantificação de incertezas e sejam calculadas de forma a produzir resultados precisos e reproduzíveis. Em alguns casos ocorre de fabricantes de motores a combustão fornecerem um determinado fator de emissão para cada um dos modelos de seus motores.

Apesar da flexibilidade da classe de rigor, a razão para a escolha de um ou outro fator de emissão deve ser explicitada. Em novos cálculos, quando se refaz o cálculo para outro período base, faz-se fundamental expor as razões para eventuais mudanças nos fatores de emissão previamente utilizados.

e) Cálculo das emissões de GEE

O cálculo das emissões deve ser efetuado de acordo com a metodologia de quantificação selecionada, sendo que para diferentes fontes têm-se diferentes caminhos para o cálculo. Cuidado especial deve ser dado ao cálculo de incertezas parciais e finais, cada fonte de emissão deve estar acompanhada de sua incerteza.

Para este trabalho será utilizada a metodologia calculada e os fatores de emissão padrão do IPCC. Esta metodologia foi escolhida para os cálculos por ser a mais usada nos inventários corporativos e nacionais, assim como nos cálculos de emissão e redução que compõem os projetos de MDL quando não se conhecem alguns dados necessários. Os cálculos totais de GEE devem sempre considerar os PAGs dos gases do processo em questão bem como suas incertezas (Anexo 1).

Capítulo IV – Metodologia para Cálculos de Emissão

Serão ilustradas diversas metodologias de cálculos de emissão. A partir delas será possível realizar um estudo de caso de um inventário de emissões de GEE durante uma suposta produção primária de alumínio. Esse estudo de caso consiste no processo de produção do metal que consome carbono, de outras atividades paralelas consumidoras de combustíveis fósseis e no consumo de energia elétrica para eletrólise. As etapas ilustradas desse processo são responsáveis pela maior parte dos GEE envolvidos na produção de alumínio.

Os cálculos de emissões dos principais GEEs originados desses processos serão realizados da seguinte forma, utilizando: as metodologias disponíveis das fontes confiáveis, os fatores de emissão padrões das Diretrizes 2006 do IPCC e utilizando seus respectivos parâmetros quando necessários.

Como mencionado anteriormente, o IPCC apresenta três classes de rigor para o cálculo de emissões, chamadas de *tier*. Para os cálculos de emissão as classes de rigor estão ligadas à quantidade e ao detalhamento de informações que se tem a respeito do processo e dos materiais em questão. Os *tiers* dividem-se em *tier 1*, *tier 2* e *tier 3*.

O rigor utilizado aqui será geralmente o *tier 1*, que consiste no uso do fator de emissão padrão. Sabe-se que os fatores de emissão padrão nem sempre representam a realidade local, mas na falta de informações sobre o processo em questão é a melhor estimativa.

O *tier 1* resume-se geralmente em multiplicar um dado de atividade por um fator de emissão padrão tabelado do IPCC para o processo estudado, é um método simples mas eficiente e que requer menos dados. Este *tier* é utilizado quando a informação sobre o combustível é limitada e não há mais informações disponíveis ao responsável pelo cálculo. A emissão de carbono é estimada em termos das suas espécies que são emitidas.

O *tier 2* e o *tier 3* são mais complexos e requerem maior volume e detalhamento de dados como teores específicos do processo para posterior desenvolvimento de um fator de emissão próprio e não padrão. Quando possível também considera a tecnologia utilizada e a periodicidade de manutenção (AGEIS, 2008).

IV.1 Consumo de Combustíveis Fósseis

O consumo de combustíveis fósseis se dá tanto em fontes estacionárias como caldeiras, fornos e secadores participando dos processos produtivos, quanto em fontes móveis como veículos automotores, ferrovias, navios, caminhões e aviões.

Durante a combustão a maioria do carbono é emitida na forma de CO_2 , podendo, entretanto, ser emitido na forma de CO , CH_4 e outros compostos orgânicos voláteis (COVs). Esses uma vez na atmosfera são oxidados a CO_2 em poucos dias ou em até 12 anos (Gillenwater, 2005) e sua contabilização não será abordada neste trabalho; no Capítulo 7 do Volume 1 das Diretrizes 2006 do IPCC podem ser obtidas maiores informações para estes cálculos (Garg, 2006).

O processo de combustão é definido pela rápida oxidação das substâncias do combustível com liberação de energia térmica. Durante a combustão os GEE são formados e, quando não capturados ou controlados, são conseqüentemente emitidos para a atmosfera.

A energia contida em um combustível é uma propriedade química inerente do mesmo. Esta propriedade é função do tipo das ligações químicas existentes no combustível, assim o teor de carbono no combustível, ou seja, a massa de átomos de carbono em relação à massa total de átomos do combustível, também é uma propriedade inerente do combustível.

A maior parte da energia liberada no processo de combustão é resultante da quebra das ligações químicas entre os átomos de carbono e hidrogênio e pela formação de ligações duplas entre átomos de carbono e oxigênio presente no ar. Assim a quantidade de energia liberada no processo de combustão e a quantidade de CO_2 emitido são funções do teor de carbono no combustível empregado. Como se sabe, não há queima puramente eficiente e uma pequena quantidade de carbono pode não sofrer oxidação e permanecer sólido como cinza ou fuligem. A natureza do processo de combustão permite que as emissões de CO_2 sejam estimadas baseando-se em aproximação por balanços de massa pela massa de carbono que entra como combustível, pela massa que sai emitida como GEE e pela massa que fica de outras formas como fuligem e cinzas (Gillenwater, 2005).

Visto que as emissões de CO_2 são independentes da tecnologia de combustão, enquanto as de CH_4 e N_2O são extremamente dependentes da tecnologia, os fatores de emissão utilizado aqui para o CO_2 (fornecido pelas Diretrizes do IPCC de 2006) são os aplicáveis à

todos os tipos processos de combustão (estacionários ou móveis) e os de CH₄ e N₂O não consideram as variações de combustão das partidas ou paradas.

IV.1.1 Fontes Estacionárias

Para processos de combustão estacionários, as emissões relativas ao total de carbono como CH₄, CO e não metânicos contabilizam por muito menos que 1% das emissões relativas ao total de carbono como CO₂. Em muitos processos, exceto quando a combustão é extremamente ineficiente, essas outras formas de gases contendo carbono representam menos de 0,1% do total das emissões (Gillenwater, 2005)

Assim, quando o Protocolo GEE estima as emissões de CO₂ utilizando a metodologia calculada baseando-se no consumo total de combustível e no teor de carbono do mesmo, assume-se por conservadorismo que todo carbono do combustível, exceto as frações não oxidadas que ficaram como cinza ou fuligem, é oxidado a CO₂ no longo prazo. Visto isso o fator de oxidação utilizado é 0,99 (Gillenwater, 2005). Neste ponto o Protocolo GEE e as Diretrizes do IPCC de 2006 diferem na abordagem, pois esta última explica o *tier I* com os fatores de emissão padrão de uma fonte estacionária com fator de oxidação igual a 1. Como é permitido e possível apurar o cálculo reduzindo o fator de oxidação, neste trabalho será seguida a metodologia do Protocolo GEE e fator de oxidação de 0,99 nas fontes estacionárias.

Uma vantagem em relação à metodologia adotada é que quando as emissões são baseadas em medidas diretas de concentração de CO₂ e na vazão de exaustão, o carbono dessas outras formas de CO₂ não é capturado, porque a quantidade de CO₂ emitida é medida antes dos gases CH₄, CO e não metânicos serem oxidados na atmosfera a CO₂, o que faz com que as emissões da medição direta sejam subestimadas se as emissões desses outros gases forem descartadas por não aparecerem na medição (Gillenwater, 2005).

Observando as equações IV.2, IV.3 e IV.4, descritas a seguir, percebe-se claramente que as aproximações utilizadas para calcular as emissões de CO₂ variam das utilizadas para estimar as emissões de CH₄ e N₂O. As emissões de CH₄ e N₂O não dependem apenas das características do combustível como as emissões de CO₂, mas também variam com o tipo de tecnologia utilizada, com as condições de queima, com o uso de equipamentos de

controle de poluição e com as condições do ambiente. As emissões desses gases também variam com o tamanho, eficiência, qualidade da tecnologia de combustão assim como com a manutenção e práticas de operação. A emissão de N₂O varia principalmente com a quantidade de ar na queima e a emissão de CH₄ com a quantidade de metano no combustível (Gillenwater, 2005).

Visto a complexidade e o trabalho de se calcular as emissões de CH₄ e N₂O, o método mais utilizado, adotado neste trabalho, não inclui todas essas variáveis, mas sim fornece uma estimativa crua, porém real, dessas emissões de N₂O e CH₄ para os processos estacionários, não considerando partidas nem paradas como dito anteriormente. Diferentemente dos fatores para o CO₂ que podem ser calculados, como será ilustrado brevemente, os fatores de emissão para o N₂O e CH₄ são tabelados e determinados pelas Diretrizes do IPCC de 2006.

Sendo assim a metodologia adotada baseia-se em dois dados: no consumo total do tipo de combustível utilizado, durante o período base estipulado, e no de fator de emissão. Sendo este último para o CO₂ composto pelo teor de carbono contido no combustível e pela eficiência da oxidação do processo ou fator de oxidação. A equação utilizada para estimá-lo é dada por:

$$FE'_{CO_2} = \%C \cdot F_{ox} \cdot \frac{44}{12}$$

(Equação IV.1)

Onde:

FE'_{CO_2} = fator de emissão de CO₂ [kg CO₂/GJ],

$\%C$ = teor de carbono [kg C/GJ],

F_{ox} = fator de oxidação,

44/12 = massa molecular do CO₂ / massa atômica do carbono [adimensional].

O teor de carbono pode ser baseado em teores padrões, o que encaminha o cálculo para o *tier 1*, ou resultante de uma análise de laboratório ou ainda divulgado pelo fornecedor do combustível, o que encaminha o cálculo para o *tier 2 ou 3*. Lembrando que quanto menos generalizado o fator de emissão for, mais próximo do real o cálculo será.

É válido lembrar que existem variações de composição em cada tipo de combustível devido à localização geográfica de onde foram extraídos e devido a qualidade dos processos anteriores pelo qual passaram e que o ideal seria uma análise laboratorial do combustível antes do uso deste, e que, apesar dos fatores padrão do IPCC implicarem em algum erro, eles estão acompanhados de suas incertezas e fornecem resultados muito próximos do real. O ideal seria realizar análises periódicas e regulares dos teores de carbono nos combustíveis utilizados, conforme mencionado acima, para obter um fator de emissão mais próximo ainda do real. Os teores do carbono podem estar em diferentes unidades cabendo ao realizador do cálculo fazer as devidas conversões. Os teores de carbono tabelados pelo IPCC são todos em massa de carbono por energia.

Assim, segue abaixo a equação utilizada para estimar as emissões de CO₂, retiradas das ferramentas de cálculo do Protocolo GEE (Gillenwater, 2005):

$$E_{CO_2} = A_{HV} \cdot \%C \cdot F_{ox} \cdot \frac{44}{12}$$

(Equação IV.2)

Onde:

E_{CO_2} = emissão de CO₂ [kg CO₂],

A_{HV} = Poder calorífico do consumo de combustível [GJ],

$\%C$ = teor de carbono [kg C/GJ],

F_{ox} = fator de oxidação

44/12 = massa molecular do CO₂ / massa atômica do carbono [adimensional].

As equações para estimar-se CH₄ (Equação IV.3) e N₂O (Equação IV.4), retiradas de Gómez (2006) são:

$$E_{CH_4} = A_{HV} \cdot FE_{CH_4}$$

(Equação IV.3)

Onde:

E_{CH_4} = emissão de CH₄ [kg CH₄],

A_{HV} = Poder calorífico do consumo de combustível [TJ],

FE_{CH_4} = fator de emissão padrão do CH₄ [kg CH₄/TJ].

$$E_{N_2O} = A_{HV} \bullet FE_{N_2O}$$

(Equação IV.4)

Onde:

E_{N_2O} = emissão de N₂O [kg N₂O],

A_{HV} = Poder calorífico do consumo de combustível [TJ],

FE_{N_2O} = fator de emissão padrão do N₂O [kg N₂O /TJ].

Então, para se ter a emissão total de GEE basta somar cada uma das emissões em termos do CO₂e, da seguinte forma, onde os PAG estão presentes na Tabela 3:

$$E_{TOTAL} = E_{CO_2} + E_{CH_4} \bullet PAG_{CH_4} + E_{N_2O} \bullet PAG_{N_2O}$$

(Equação IV.5)

Onde:

E_{TOTAL} = emissão total de GEE [kg CO₂e],

PAG_{CH_4} = potencial de aquecimento global do CH₄,

PAG_{N_2O} = potencial de aquecimento global do N₂O.

Segundo as Diretrizes do IPCC de 2006, os fatores de emissão padrão de CO₂ em fontes estacionárias possuem incerteza quantificada para diversos países, mas não para o Brasil. Para cobrir esse falta de informação poderia ser adotada a incerteza utilizada nos Estados Unidos, pois é o país com incerteza no fator de emissão divulgada geograficamente mais próximo do Brasil. E assim a incerteza para o fator de emissão padrão do CO₂ para combustão de óleos em fontes estacionárias seria de 2%. Para carvão, gás e coque essa incerteza passaria para até 1% (Gómez, 2006). Já para o CH₄, a incerteza para combustão de fontes estacionária seria de 50 a 150% (o maior valor será adotado) e do N₂O variaria de um décimo da emissão até dez vezes a emissão (o maior valor também será adotado), devido às questões mencionadas parágrafos acima (Gómez, 2006).

IV.1.2 Fontes Móveis

A diferença encontrada entre as fontes móveis e as fontes estacionárias geralmente se deve ao tipo de combustível utilizado, sendo os de fontes móveis geralmente mais leves. Como para as fontes móveis também será utilizado o *tier 1* para os cálculos, é importante frisar que nessa classe de rigor e nessa combustão considera-se que 100% do carbono contido no combustível é oxidado durante ou imediatamente após o processo de combustão, para todos os tipos de combustível e de veículo o que significa utilizar um fator de oxidação igual a 1 (Kapshe, 2006).

Em *tiers* maiores os fatores de emissão podem ser ajustados levando em conta as frações não oxidadas ou frações diferentes do CO₂. Isto significa que o CO e os COVs oxidam-se a CO₂ na atmosfera. Os fatores de emissão padrão do CO₂ possuem uma incerteza definida entre 2 e 5% apresentadas na Tabela 4 (Kapshe, 2006). Para maior abrangência a incerteza de 5% será a adotada.

Outra diferença se dá pelos valores dos fatores de emissão de N₂O e CH₄, que variam de acordo com o uso e tipo do equipamento quando se aproxima de *tiers* maiores. Por exemplo, as emissões de N₂O e CH₄ mudam se o funcionamento da fonte móvel está em área rural, urbana ou vias expressas.

Essa diferença aparece principalmente no uso do diesel e da gasolina (Kapshe, 2006). Tal diferença é notável ao se observar os fatores de emissão dispostos na Tabela 04. As linhas 3 e 4 desta tabela referem-se às fontes móveis e as linhas 1 e 2 às fontes estacionárias. Observando a linha 3, relativa ao fator de emissão do diesel em transporte via ferrovia, e em seguida observando a linha 4 relativa ao fator de emissão em transporte via estrada, é possível notar que o fator de emissão para o N₂O e CH₄ em transporte via ferrovia difere do transporte via estrada. É notável que o transporte via estrada apresenta um fator de emissão menor que o transporte via ferrovia. Essa diferenciação de emissão é fornecida pelas Diretrizes 2006 do IPCC e utilizada quando se conhece essas informações.

Os fatores de emissão padrão do N₂O e CH₄ possuem uma incerteza definida entre 2 e 3% fornecidas também na Tabela 4 (Kapshe, 2006), para maior abrangência a incerteza de 3% será a adotada.

No caso dos cálculos abaixo apenas o *tier 1* será utilizado.

Assim, a emissão de CO₂ para fontes móveis é dada pela seguinte equação (Kapshe, 2006):

$$E_{CO_2} = A_{HV} \cdot FE_{CO_2}$$

(Equação IV.6)

Onde:

E_{CO_2} = emissão de CO₂ [kg CO₂],

A_{HV} = Poder calorífico do consumo de combustível [TJ],

FE_{CO_2} = fator de emissão padrão do CO₂ para o combustível [kg CO₂/TJ].

As emissões de CH₄ e N₂O são dadas pelas mesmas equações IV.3 e IV.4 utilizadas nas fontes estacionárias, a diferença agora é atentar sempre à diferença existente nos valores dos fatores de emissão que compõem a fórmula.

Então, para se ter a emissão total de GEE basta somar cada uma das emissões em termos do CO₂e, da mesma forma em que foi feito anteriormente e os PAG estão presentes na Tabela 3:

$$E_{TOTAL} = E_{CO_2} + E_{CH_4} \cdot PAG_{CH_4} + E_{N_2O} \cdot PAG_{N_2O}$$

(Equação IV.5)

Tabela 4: Parâmetros e fatores de emissão padrão para combustão em fontes estacionárias e em fontes móveis (em parênteses as incertezas em valor absoluto)

Fonte: Adaptado Gómez, 2006 e Kapshe, 2006.

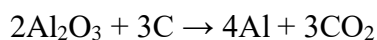
COMBUSTÍVEL	Teor de C [kgC/GJ]	FE CO ₂ [kgCO ₂ /TJ]	FE CH ₄ [kgCH ₄ /TJ]	FE N ₂ O [kgN ₂ O/TJ]	Poder calorífico [TJ/Gg]
Óleo combustível	21,1 (+0,4/-0,5)	77.400(±1.548)*	3(±4,5)	0,6(±6)	40,4
Gás natural (Transporte Rodoviário)	15,3 (+0,4/-0,5)	56.100(±2.805)	92(±2,76)	3(±0,09)	48
Óleo diesel (Transporte ferroviário)	20,2 (+0,2/-0,4)	74.100(±3.705)	4,15(±0,12)	28,6(±0,86)	43
Óleo diesel (Transporte rodoviário)	20,2 (+0,2/-0,4)	74.100(±3.705)	3,9(±0,12)	3,9(±0,12)	43

*É relativo a um fator de oxidação igual a 1 e não ao fator de oxidação igual a 0,99; não é utilizado para o cálculo proposto.

IV.2 Produção Primária de Alumínio

A produção primária de alumínio se dá mundialmente pelo processo eletrolítico de Hall-Herout patenteado em 1886. Este processo consiste em transformar a alumina (óxido de alumínio) em alumínio metálico nas células eletrolíticas por meio de redução.

A seguinte reação ocorre na produção de alumínio (GHG Protocol, 2008a):



A principal fonte de emissão de CO₂ é proveniente do consumo do anodo pré-cozido quando utilizada a tecnologia *Prebake* e da pasta *Soderberg* quando utilizada esta outra tecnologia (Marks, 2006). Os anodos e a pasta *Soderberg* são produzidos a partir de uma mistura de coque de petróleo e piche, são combustíveis altamente carregados de carbono. A Figura 2 ilustra um anodo pré-cozido de coque e piche.



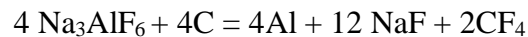
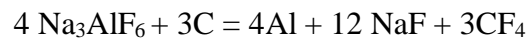
Figura 2: Anodo pré-cozido de coque de petróleo e piche

Há outras duas fontes de emissão de CO₂, e são elas: a emissão por material volátil liberado durante a operação e a emissão por combustão do material de revestimento da cuba. Essas duas outras fontes não serão abordadas neste trabalho.

As células eletrolíticas de redução se diferem pela forma e configuração do anodo de carbono e pelo sistema de alimentação da alumina. Os processos existentes pertencem a um dos quatro tipos de tecnologia (Marks, 2006):

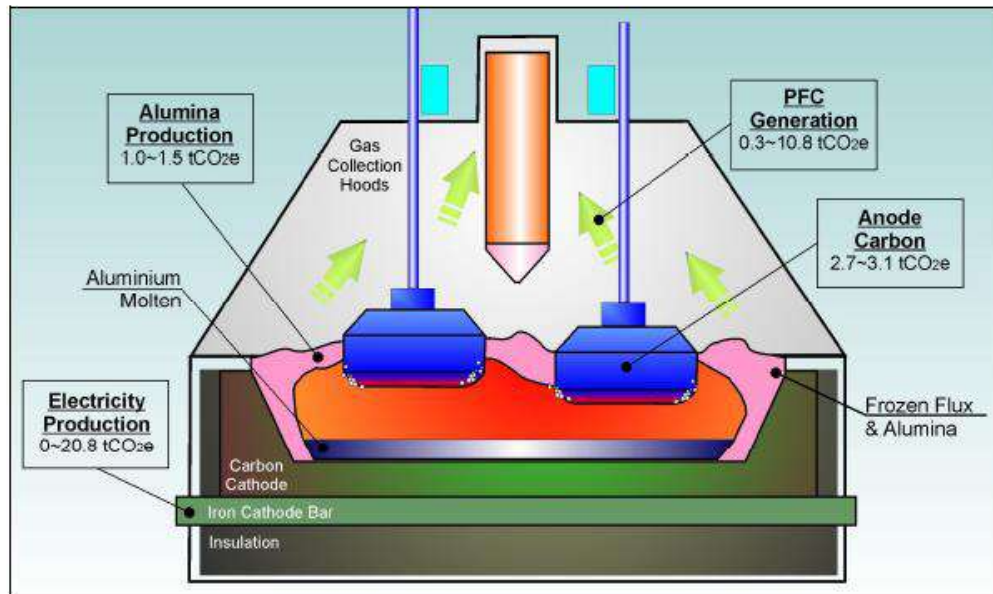
1. CWPB (*Centre Worked Prebake*), que incluem as células PFPB (*Point feed Prebake*) e BBPB (*Bar Broken Prebake*), a alimentação de alumina é realizada no centro da cuba;
2. SWPB (*Side Worked Prebake*), a alimentação de alumina é realizada na lateral da cuba;
3. HSS (*Horizontal Stud Soderberg*) e
4. VSS (*Vertical Stud Soderberg*).

As emissões mais significativas deste processo são as emissões de CO₂ e de PFCs (perfluorcarbonos), mais especificamente do CF₄ e do C₂F₆. A emissão de CO₂ é devido ao consumo dos anodos de carbono na reação de conversão do óxido de alumínio em alumínio metal como mencionado anteriormente, e as emissões de PFCs são devido ao efeito anódico (Marks, 2006). Tais gases são gerados nas seguintes reações (GHG Protocol, 2008a):



Para vencer as resistências do circuito e gerar calor para manter o eletrólito em fusão para reação de redução ocorrer, as cubas eletrolíticas possuem uma diferença de voltagem entre si. Quando há um aumento muito grande dessa voltagem e este aumento ocorre quando a quantidade de alumina dissolvida no banho é muito pequena ou insuficiente, é que ocorre o efeito anódico (Marks, 2006). Por exemplo, quando a voltagem passa do nível normal de 04 volts, para um nível alto de 15 a 50 volts. Esse crescimento na voltagem provoca outra reação química na célula eletrolítica, que produz os dois compostos de gases PFC, acima apresentados, resultantes da eletrólise do fluoreto contido no líquido eletrolítico com o carbono do anodo da célula (MCT, 2008c).

A Figura 3 representa a ocorrência do efeito anódico e a produção de emissões de GEE em carbono equivalente da empresa ALBRÁS (MCT, 2008c). A ALBRÁS tenta através da diminuição do efeito anódico reduzir suas emissões de PFCs.



Fonte: MCT, 2008c

Figura 3: Representação de Efeito anódico.

Seguindo o mesmo raciocínio utilizado anteriormente, a pureza do cálculo está relacionada aos dados disponíveis. O *tier 1* para este caso consiste na relação que existe entre as toneladas de alumínio produzidas e suas emissões, relação esta obtida por meio da equação de redução da alumina e da oxidação por processos térmicos gerando um fator de emissão de GEE por toneladas produzidas do metal.

A equação que descreve a emissão total de CO₂ para este *tier* é dada por (Marks, 2006):

$$E_{CO_2} = MP \cdot FE_P$$

(Equação IV.7)

Onde:

E_{CO_2} = emissão total de CO₂ na produção de alumínio [t CO₂],

MP = produção de metal no processo *Prebake* [t Al],

FE_P = fator de emissão específico para tecnologia *Prebake* [t CO₂/t Al].

Para realizar os cálculos de emissão por material volátil liberado durante a operação da cuba e da emissão por combustão do material de revestimento da cuba, são necessários diversos parâmetros de processo que não cabe a este trabalho supor, portanto como dito

anteriormente, essas emissões não serão abordadas. Já para realizar-se o cálculo de emissão devido ao consumo do anodo é possível supor os dados de atividade necessários. A Equação V.7 apresenta a emissão de CO₂ por consumo do anodo na tecnologia CWPB na cuba eletrolítica (Marks, 2006):

$$E_{CO_2} = NAC \cdot MP \cdot \frac{100 - S_a - Ash_a}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

(Equação IV.8)

Onde:

E_{CO_2} = emissão de CO₂ devido ao consumo de anodo [t CO₂],

MP = produção total de alumínio metal [t Al],

NAC = consumo específico de anodo pré-cozido por tonelada de alumínio [t de C/ t Al],

S_a = teor de enxofre no anodo cozido [% peso],

Ash_a = teor de cinzas no anodo cozido [% peso],

44/12 = massa molecular do CO₂/ massa atômica do carbono [adimensional].

Para os PFCs, nenhum dado de processo será suposto restando para opção de cálculo o *tier 1*, que da mesma forma que nos combustíveis fósseis fornecem uma estimativa real das emissões. As equações que descrevem as emissões de PFCs são dadas por (Marks, 2006):

$$E_{CF_4} = FE_{CF_4} \cdot MP$$

(Equação IV.9)

$$E_{C_2F_6} = FE_{C_2F_6} \cdot MP$$

(Equação IV.10)

Onde:

E_{CF_4} = emissão de CF₄ por produção de alumínio [kg CF₄],

$E_{C_2F_6}$ = emissão de C₂F₆ por produção de alumínio [kg C₂F₆],

FE_{CF_4} = fator de emissão padrão para a tecnologia Prebake para CF₄ [kg CF₄/t Al],

$FE_{C_2F_6}$ = fator de emissão padrão para a tecnologia Prebake para C₂F₆ [kg C₂F₆/t Al],

MP = produção de metal no processo Prebake [t Al].

Assim, a emissão total de GEEs no consumo de anodos na produção primária de alumínio é dada pela soma das emissões de todos esses gases:

$$E_{TOTAL} = E_{CO_2} + E_{CF_4} \bullet PAG_{CF_4} + E_{C_2F_6} \bullet PAG_{C_2F_6}$$

(Equação VI.11)

Onde:

PAG_{CF_4} = potencial de aquecimento global do CF_4 ,

$PAG_{C_2F_6}$ = potencial de aquecimento global do C_2F_6 .

A Tabela 5 apresenta os parâmetros a serem utilizados nesta metodologia.

Tabela 05: Fatores de emissão padrão para produção de Alumínio e suas respectivas incertezas percentuais

Fonte: Adaptado de Marks, 2006

Tecnologia	FE CO_2 [t CO_2 /t Al]	FE CF_4 [kg CF_4 /t Al]	FE C_2F_6 [kg C_2F_6 /t Al]	S_a [%]	Ash _a [%]
Prebake CWPB	1,6(±10%)	0,4 (-99/+380%)	0,04 (-99/+380%)	2(±50%)	0,4(±85%)

IV.3 Consumo de Energia Elétrica

As emissões de CO_2 relativas ao consumo de energia elétrica de uma instalação qualquer está diretamente relacionada ao tipo de energia que esta consome, à sua localização geográfica, e claro, à quantidade de energia consumida.

Se o consumo é originado de uma termoelétrica, esta instalação consome uma energia mais suja, mais emissora de CO_2 . Já se o consumo é originado de uma hidrelétrica esta instalação consome uma energia mais limpa, mas emissora de CH_4 . A matriz energética brasileira é basicamente hidrelétrica, mas também possui usinas termoelétricas gerando energia em determinadas regiões do país.

O SIN (Sistema Interligado Brasileiro), o MME (Ministério de Minas e Energia) e o MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia) juntamente ao ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) estudaram e divulgaram fatores de emissão regionais que melhor expressassem a emissão de CO₂ por consumo de energia elétrica. Esse estudo foi realizado seguindo a sistemática de aprovações de metodologias nos painéis da ONU para projetos de MDL, assim os fatores de emissão de CO₂ para consumo de energia elétrica passaram a ser calculados pelo ONS para os quatro submercados do SIN: o Norte, o Nordeste, o Sudeste/Centro-Oeste e para o Sul, todos a partir de janeiro de 2006 (MCT, 2008a).

Os fatores de emissão divulgados pelo MCT consistem todos em conversão de consumo de energia elétrica em MWh para toneladas de emissões de CO₂. A emissão de GEE devido ao consumo de energia elétrica por enquanto restringe-se apenas à emissão de CO₂ e não apresenta nenhum dado de incerteza.

Segue abaixo equação utilizada para conversão:

$$E_{CO_2} = \sum_1^{12} E_a \cdot FE_a$$

(Equação IV.12)

Onde:

E_a = Energia consumida no mês a [MWh],

FE_a = Fator de emissão do mês a [tCO₂/MWh],

a = mês 1 ao mês 12 [adimensional].

A Tabela 6 apresenta os fatores de emissão mensal de CO₂ devido ao consumo de energia elétrica na região sudeste, registrados no ano de 2006.

Tabela 06: Fatores de Emissão mensal de CO₂ por consumo de energia elétrica em 2006

Fonte: Adaptado MCT, 2008b

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fator de emissão (tCO ₂ /MWh)	0.1586	0.1802	0.1349	0.0782	0.1256	0.1178	0.1539	0.1657	0.1607	0.1456	0.1104	0.1569

IV.4 Estudo de Caso

Como dito anteriormente, o estudo de caso será realizado para uma fábrica de alumínio de médio porte. É muito válido ressaltar que todos os valores de consumo apresentados para os cálculos são suposições ilustrativas, que se baseiam em relatórios e publicações de fábricas de alumínio brasileiras e dados de agências nacionais. Nenhum dos dados foi retirado de empresa específica alguma.

Baseado na produção de uma fábrica de alumínio de médio porte, sabe-se que são produzidas em média 100.000 toneladas do metal (Valesul, 2008), adotando-se a tecnologia CWPB. Esta fábrica será analisada durante o período base de 2006. Sua localização geográfica é na região sudeste.

Para suprir a demanda de seu mercado, de 100.000 toneladas de alumínio por ano, foram gastos em média 84 quilogramas do anodo pré-cozido para cada tonelada produzida desse metal.

O departamento de matérias primas da fábrica é o responsável pelo transporte rodoviário das mesmas, do seu local de venda no Pará até a fábrica no Rio de Janeiro. Esse transporte é realizado com uma frota própria nova de caminhões, e a distância de ida e volta entre esses estados é de aproximadamente 6.112 km (Quatro Rodas, 2008). Para suprir a necessidade de matéria-prima são realizadas em média duas viagens por mês. Sabendo que o consumo médio de óleo diesel de um caminhão novo carregado é de 2,9 km/L (FETRANCESC, 2008) essa frota foi responsável então por um consumo de aproximadamente 50,60 m³ de óleo diesel no período supracitado.

Como visto, a primeira etapa da produção primária de alumínio é o processo de redução nas cubas eletrolíticas. Após esta etapa o metal fundido segue seu caminho em cadinhos industriais até a sala de fundição. O departamento de operações internas realiza este e outros trajetos em veículos a gás natural veicular. Esses veículos circulam diariamente na fábrica sempre a uma velocidade de segurança de 20 km/h, durante o horário de operações da fábrica. Supondo que a fábrica opere de 7 horas às 18 horas com 1 hora de parada para almoço, tem-se 10 horas de circulação desses veículos, que resulta em 200 km de trabalho por dia, desconsiderando-se qualquer tempo gasto com paradas para embarque e desembarque de material. Tal quilometragem, em aproximadamente 240 dias

comerciais que a fábrica operou em 2006, resultam em 48.000 km rodados dentro da fábrica neste ano. Sabendo que um veículo movido a gás natural consome em média 12 km/m³ de gás natural (GASPET, 2008) o consumo deste gás foi de 4.000 m³.

Depois de moldado o alumínio segue o destino para os seus clientes. Esse transporte é realizado pelo departamento de transporte de produto por meio de uma ferrovia própria até o Porto de Santos, ela é usada unicamente para o transporte desse metal. A distância entre Rio –Santos é de 490 km (Quatro Rodas, 2008b), o consumo médio de uma locomotiva do modelo U23CA é de 3,16 litros de óleo diesel por tonelada transportada (Centro Oeste Brasil, 2008). Assim, o consumo de diesel desta ferrovia foi de 316.000 litros.

É importante frisar que para que todo processo de redução ocorra é fundamental que haja disponibilidade de energia elétrica, o departamento energético da fábrica é responsável pelo consumo de energia elétrica na redução e também pela operação de geradores para casos de quedas de eletricidade. Para estimar-se o consumo de energia elétrica neste estudo, observou-se o seguinte: a Albrás, empresa que produz quatro vezes mais que a fábrica deste estudo de caso (ALBRAS, 2008a), gastou em 2007 o valor de 628.937 milhares de reais pelo seu consumo de energia elétrica (ALBRAS, 2008b). Como a tarifa na região norte (região onde a Albrás se localiza) é em média de 224,07 R\$/MWh (ANEEL, 2008) estimou-se que o consumo desta empresa seria de aproximadamente 2.807.000 MWh. Partindo do princípio que se fábrica deste estudo produz um quarto da produção da Albrás, também consome algo próximo do um quarto da energia elétrica. Estimando então o consumo de energia elétrica desse estudo, este foi de 701.750 MWh que se distribui ao longo dos meses como está expresso detalhadamente na Tabela 7 a seguir. Essa Tabela foi criada a partir do consumo total anual, estimado acima, e distribuído ao longo dos meses por uma média de consumo mensal, pois os fatores de emissão no consumo de energia elétrica são mensais.

Todas as etapas incluídas nesse estudo de caso são as únicas responsáveis pelas emissões diretas desta fábrica. Qualquer outra etapa na produção primária de alumínio que possua uma fonte de emissão e que já não esteja citada neste estudo é considerada indireta e não será calculada, por exemplo algumas indústrias trabalham com geradores de energia para que possam manter a produção no caso de uma queda de energia.

Tabela 07: Consumo mensal de energia elétrica em MWh

Mês	Consumo (MWh)
Jan	66,730.00
Fev	62,675.00
Mar	65,309.00
Abr	60,177.50
Mai	61,500.00
Jun	55,325.00
Jul	60,485.00
Ago	55,386.00
Set	53,557.50
Out	52,050.50
Nov	52,278.00
Dez	56,276.50

Capítulo V – Resultados

Os resultados abaixo estão apresentados com suas respectivas incertezas parciais e finais (USP, 2008). Para as incertezas onde as variações para mais e para menos não são iguais, foram adotados os limites superiores mantendo os princípios de abrangência e conservadorismo. Observa-se que em diversas fontes de emissão as incertezas associadas à elas são maiores que seu próprio valor, o que além de por a prova o resultado padrão indica como ainda há possibilidades para se aprimorar as metodologias de emissão de gases de efeito estufa, principalmente em relação ao *tier 1* para o CF₂ e C₂F₆.

Ressalta-se que as incertezas para CO₂ em fontes móveis são de 5%, para CH₄ e N₂O de 3%; para CO₂ em fontes estacionárias está relacionado ao seu teor de carbono, para CH₄ de 150% e do N₂O de 10 vezes a sua emissão, como dito anteriormente.

V.1 Cálculos com Combustíveis Fósseis

VI.1.1 Fontes Móveis

a) Transporte de matéria-prima via Frota de Caminhões

Aplicando-se as equações IV.3 a IV.6 e os parâmetros da Tabela 3 e da Tabela 4, e assumindo consumo de 50,60 m³ de óleo diesel em 2006, obtêm-se os seguintes resultados (em parênteses as incertezas associadas às emissões):

Da equação IV.6:

$$E_{CO_2} = 141.879,57 (\pm 7.093,97) \text{ kg CO}_2$$

Da equação IV.3:

$$E_{CH_4} = 7,47 (\pm 0,22) \text{ kg CH}_4$$

Da equação IV.4:

$$E_{N_2O} = 7,47 (\pm 0,22) \text{ kg N}_2\text{O}$$

E finalmente aplicando a equação IV.5 para emissão total:

$$E_{TOTAL} = 144,35 (\pm 7,90) \text{ t CO}_2\text{e}$$

b) Transporte de Produto via Ferrovia

Aplicando-se as equações IV.3 a IV.6 e os parâmetros da Tabela 03 e da Tabela 04, e assumindo o consumo de 50.000 m³ de óleo diesel, obtêm-se os seguintes resultados (em parênteses as incertezas associadas às emissões):

Da equação IV.6:

$$E_{CO_2} = 886.046,30 (\pm 44.302,32) \text{ kg CO}_2$$

Da equação IV.3:

$$E_{CH_4} = 49,62 (\pm 1,49) \text{ kg CH}_4$$

Da equação IV.4:

$$E_{N_2O} = 342,94 (\pm 10,29) \text{ kg N}_2\text{O}$$

E finalmente aplicando a equação IV.5 para emissão total:

$$E_{TOTAL} = 993,40 (\pm 44,12) \text{ t CO}_2\text{e}$$

c) Transporte interno com veículos a Gás Natural

Aplicando-se a equação IV.2 e os parâmetros da Tabela 03 e da Tabela 04, e assumindo o consumo de 4.000 t de gás natural, obtêm-se os seguintes resultados (em parênteses as incertezas associadas às emissões):

Da equação IV.2:

$$E_{CO_2} = 6.710,46 (\pm 335,52) \text{ kg CO}_2$$

Da equação IV.3:

$$E_{CH_4} = 11 (\pm 0,33) \text{ kg CH}_4$$

Da equação IV.4:

$$E_{N_2O} = 0,36 (\pm 0,11) \text{ kg N}_2\text{O}$$

E finalmente aplicando a equação IV.5 para emissão total:

$$E_{TOTAL} = 7,05 (\pm 0,34) \text{ t CO}_2\text{e}$$

V.2 Produção Primária de Alumínio

Observando o item IV.2, no capítulo IV, que descreve cálculos de emissão na produção de alumínio e utilizando a equação IV.7 e o fator de emissão da Tabela 05 para calcular as emissões totais de CO₂, e assumindo produção de 100.000 t de alumínio no ano de 2006, obtém-se o seguinte resultado (em parênteses as incertezas associadas às emissões):

$$E_{CO_2} = 160.000 (\pm 16.000) \text{ t CO}_2$$

Avaliando agora apenas a emissão de CO₂ devido ao consumo do anodo por meio da equação IV.8 e dos parâmetros na Tabela 05 e assumindo que o processo consome 84 quilogramas do anodo pré-cozido, obtém-se neste cálculo o seguinte resultado:

$$E_{CO_2} = 30.060,80 \text{ t CO}_2$$

Este valor ao ser comparado à emissão total de CO₂ representa aproximadamente 20% das emissões totais.

Ainda no item IV.2, no capítulo IV, agora utilizando as equações IV.9 e IV.10 e os fatores de emissão da Tabela 05 para calcular as emissões de PFCs, obtém-se os seguintes resultados (em parênteses as incertezas associadas às emissões):

$$E_{CF_4} = 40.000 (+152.000 / -39.600) \text{ kg CF}_4$$

$$E_{C_2F_6} = 4.000 (+15.200 / -3.960) \text{ kg C}_2\text{F}_6$$

E, finalmente, utilizando a equação IV.11 deste mesmo item e capítulo e a Tabela 03 para se obter a emissão total de GEE desta fábrica, obtém-se o seguinte resultado (em parênteses as incertezas associadas às emissões):

$$E_{TOTAL} = 456.800 (\pm 997.975) \text{ t CO}_2\text{e}$$

Percebe-se neste ponto uma incerteza associada à emissão muito alta, maior que o dobro da emissão total. Tal magnitude deve-se ao fato da incerteza do fator de emissão para os PFCs ser extremamente alta, igual a 380%. Além disto, a incerteza total torna-se muito alta devido aos PFCs terem associados a eles um PAG da ordem de mil, que resulta em uma elevação ainda maior desse valor. Um fato que ainda contribui para elevação da incerteza neste trabalho são os princípios de se manter conservador e abrangente que resultou na utilização dos limites superiores das incertezas. Esses altos valores elevam a incerteza da emissão total da fábrica. Em um fábrica real essas incertezas são diminuídas ao máximo por meio da obtenção dos fatores de emissão mais próximos do real utilizando para isto monitoramentos e medidas.

V.3 Consumo de Energia Elétrica

De posse dos fatores de emissão de CO₂ dispostos na Tabela 04, do consumo disposto na Tabela 7 e da equação IV.12, a emissão de CO₂ resulta em (em parênteses as incertezas associadas às emissões):

$$E_{CO_2} = 98.902,38 \text{ t CO}_2$$

Assim obtém-se a emissão de CO₂ devido ao consumo de energia elétrica desta fábrica.

V.4 Emissões totais da fábrica de alumínio

Como visto no Capítulo I, um inventário de GEE consiste em uma lista de fontes da organização que resultem em emissões quantificadas de GEE, com expressão de incerteza (ISO 14064-1), assim as emissões totais do estudo de caso estão apresentadas na Tabela 8.

Neste estudo de caso os seguintes gases de efeito estufa foram contabilizados: CO₂, CH₄, N₂O e os perfluorcarbonos CF₄, C₂F₆. A emissão de cada um desses gases em termos do carbono equivalente apresenta o perfil da Figura 4. Sendo que as emissões de CO₂ se

apresentam quase que com a mesma contribuição que as emissões dos perfluorcarbonos, se não fosse pelo peso do C_2F_6 , os gases CH_4 e N_2O seguem no perfil com pequeno peso, quase que traços.

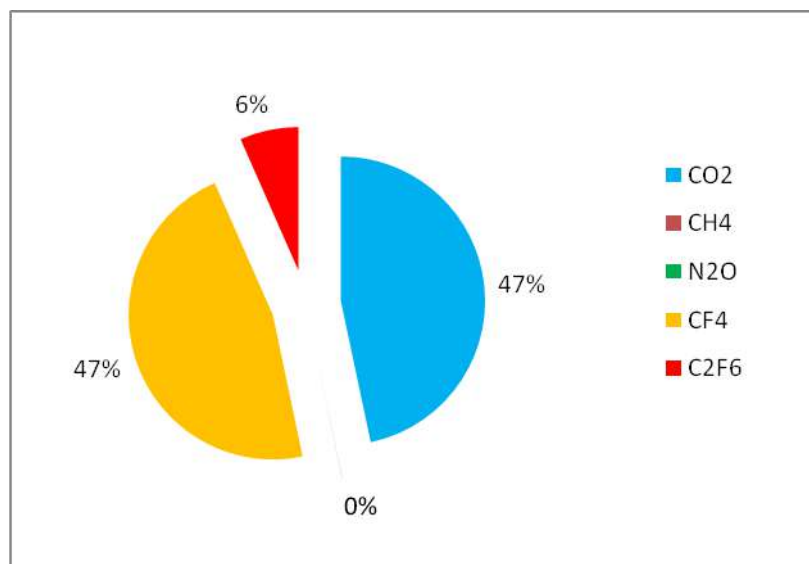


Figura 4: Divisão da influência de cada um dos GEE na suposta fábrica de alumínio

A Figura 5 detalha a divisão da influência dos gases exclusivamente nas emissões da produção de alumínio. Nesse cenário, os principais gases são o CF_2 , C_2F_6 e o CO_2 como visto anteriormente. Percebe-se, assim, o peso dos perfluorcarbonos nas emissões dessa produção, com mais de 50% das emissões da produção. Sendo que o CF_2 é o maior contribuinte, o CO_2 o segundo maior e o C_2F_6 com uma contribuição pequena.

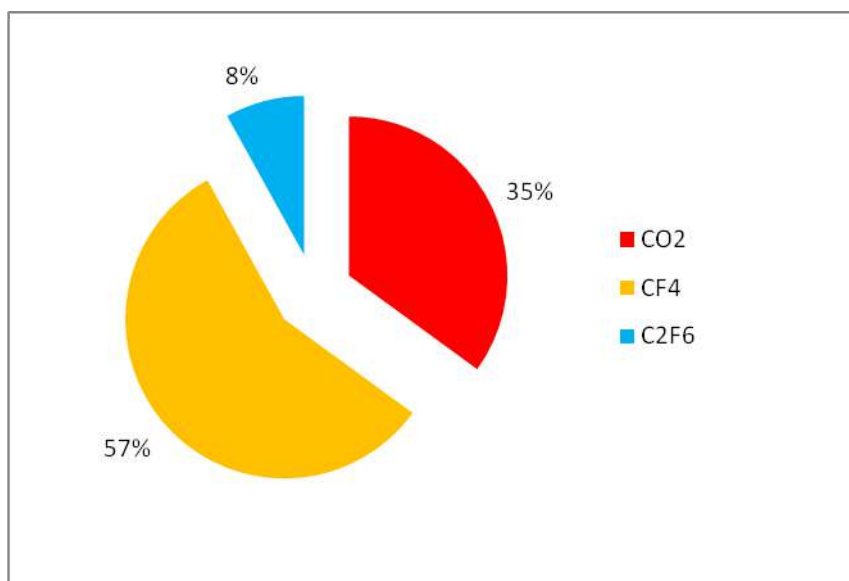


Figura 5: Divisão da influência dos perfluorcarbonos e CO₂ exclusivamente na produção de alumínio

A Tabela 8, como dito acima, apresenta todos os resultados das diversas emissões das etapas deste estudo de caso, sendo a emissão total anual de gases de efeito estufa igual a 556.847,19 (± 9978.975) tCO_{2e}, neste ponto também vale lembrar que o alto valor da incerteza veio carregado pelos fatores de emissão dos perfluorcarbonos.

Tabela 8: Resultados das emissões da fábrica de alumínio

Atividade	Tipo de Combustível	Consumo/ Produção anual	Emissão (tCO_{2e})
Transporte Interno	Gás Natural	4.000 t	7,05
Transporte de Matéria-Prima por Frota Caminhões	Óleo Diesel	50,60 m ³	144,35
Transporte de Produto por Ferrovia	Óleo Diesel	316 m ³	993,40
Produção Primária de Alumínio	Anodos	100.000 t	456.800,00
Consumo de Energia elétrica	SIN Brasileiro	701.750 MWh	98.902,38
TOTAL			556.847,19

³ Relativo a emissão total apenas de CO₂.

A Figura 6 ilustra o perfil da distribuição das emissões das atividades presentes nesse estudo. Percebe-se claramente que a maior atividade contribuidora das emissões é a produção primária de alumínio, seguida do consumo de energia elétrica. As emissões das atividades auxiliares quase não aparecem nesse perfil. A Figura 7 apresenta o perfil da emissões de GEE por categorias, sendo essas: o consumo de combustíveis fósseis, com quase nenhuma contribuição nas emissões, a produção primária de alumínio com mais de 80% das emissões de GEE e o consumo de energia elétrica com 18%. Como a soma das emissões em relação aos combustíveis fósseis é muito pequena, nenhuma diferença se percebe entre o perfil de atividade e o perfil de categorias de atividade.

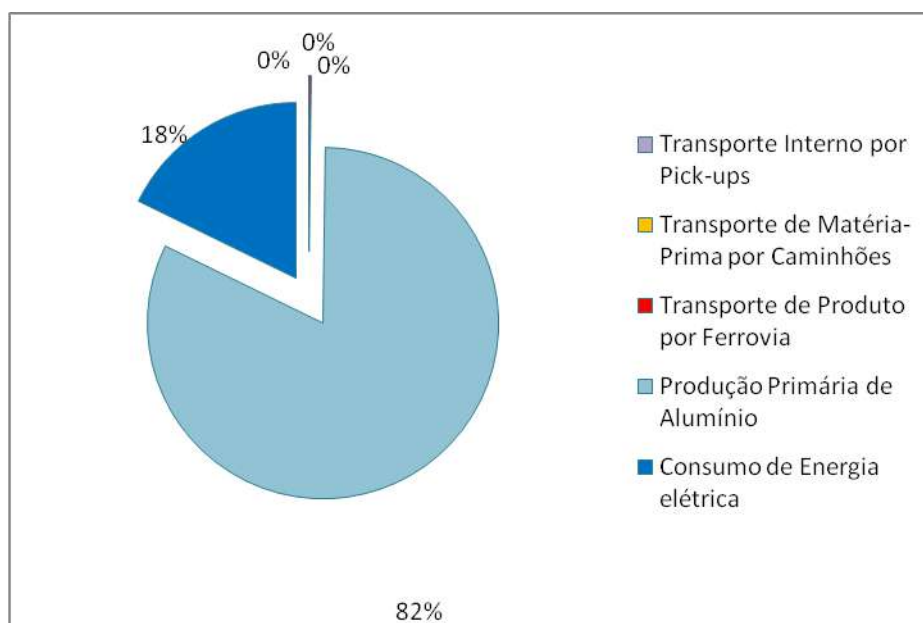


Figura 6: Perfil das emissões de GEE nas atividades do estudo de caso da fábrica de alumínio

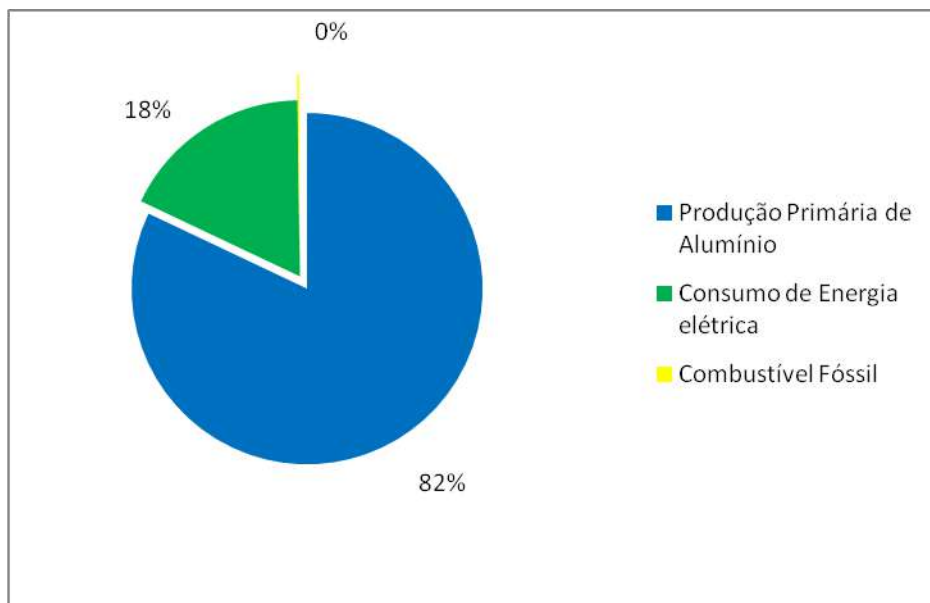


Figura 7: Perfil das emissões de GEE por categoria de atividade de emissão no estudo de caso da fábrica de alumínio

É importante salientar que o perfil encontrado para o estudo de caso é extremamente particular para o cenário suposto neste trabalho. Outras fábricas e empresas podem utilizar outros tipos de transporte para suas matérias-primas, para seu transporte interno e para seus produtos, assim como, podem não utilizar geradores e sim outras formas de suprir o consumo de energia elétrica. Essas variações influenciam diretamente nas emissões, portanto os perfis de emissão encontrados neste trabalho não podem ser extrapolados para outros casos sem uma análise comparativa criteriosa.

Capítulo VI – Conclusões

Por meio da elaboração deste trabalho foi possível perceber o quanto a indústria pode contribuir para a sociedade realizando inventários de emissões de GEE. O resultado apresentado e todo potencial de oportunidades que o inventário de GEE pode apontar se mostra uma enorme contribuição, tanto do ponto de vista de desenvolvimento tecnológico quanto de qualidade de vida.

Observando-se os resultados obtidos é possível perceber no perfil das emissões dessa fábrica que a grande emissão é devido aos perfluorcarbonos. Esse resultado encontrado reforça o conceito de que existem GEE diferentes dos gerados apenas pelo uso direto de combustíveis fósseis, como CO₂, CH₄ e N₂O, e reforça a existência de um potencial setor industrial que deve ser estudado com cuidado ao se tratar das emissões de GEE.

Dentro do perfil suposto para esta fábrica percebeu-se também que, apesar de se ter diversas atividades auxiliares que consomem altas quantidades de combustíveis fósseis e elevam a emissão do gás CO₂, há ainda a alta emissão de CO₂ e devido as emissões dos perfluorcarbonos, que possuem alto PAG. Tal fato faz parecer que as emissões dos gases CO₂, CH₄ e N₂O sejam pouco significativas.

A realização dos cálculos de emissão para os combustíveis fósseis permite avaliar, dentre os combustíveis utilizados, quais os que mais emitem quantidades de GEE para a atmosfera e quais emitem menos por meio da razão entre seus fatores de emissão. Quanto maior o fator de emissão do GEE, maior sua emissão. Tal avaliação permite ainda estudar possibilidades de substituir um combustível mais emissor de GEE por outro menos, desde que também sejam avaliadas as possíveis emissões de poluentes envolvidas na substituição.

Com esse resultado, avalia-se a possibilidade de cumprimento dos objetivos tais como a gestão das emissões e estudos de medidas administrativas para redução. Primeiro, é possível gerir os riscos e identificar oportunidades de redução, pois com a determinação do perfil de emissões torna-se possível identificar a maior fonte emissora da fábrica e assim estudar onde é possível haver potencial para reduzir as emissões quando for necessário.

Segundo, também é possível realizar relatórios públicos das emissões e participar em programas voluntários de GEE. Os relatórios públicos podem estar tanto no formato de

tabela quanto em forma de gráfico, conforme apresentado nos resultados deste estudo de caso, e assim se mostra possível visualizar e identificar as oportunidades de redução das emissões. Conseqüentemente, surge a ferramenta para participação em programas voluntários.

Terceiro, se há necessidade de participar de programas de relatório obrigatório, o resultado encontrado é suficiente para reportar as emissões. Em quarto, a participação em mercados fica mais nítida quando se tem valores de emissões para negociar. Por fim, tendo emissões e possíveis reduções analisadas há um potencial para futuro reconhecimento pelas ações voluntárias antecipadas na gestão dos GEE.

Anexo 1

Para o cálculo das incertezas considerou-se que as grandezas envolvidas, consumos em geral, são não-correlacionadas. Quando as estimativas x_i e x_j das grandezas X_i e X_j são independentes, uma variação em uma não implica uma variação em outra e as grandezas dizem-se não-correlacionadas.

Duas grandezas X_i e X_j podem ser consideradas não-correlacionadas se:

- a) forem medidas repetidamente mas não simultaneamente em experiências independentes e diferentes.
- b) representarem quantidades resultantes de cálculos diferentes que foram feitos independentemente.
- c) puderem ser tratadas como uma constante.
- d) se nada for conhecido acerca da correlação entre elas.

Assim, quando as grandezas são não-correlacionadas a incerteza da soma (ou subtração) é a raiz da soma dos quadrados das incertezas individuais (USP, 2008):

$$C = A + B, \text{ ou } C = A - B$$

$$\Delta C = \sqrt{\Delta A^2 + \Delta B^2}$$

Onde:

A, B = grandezas não correlacionadas;

ΔA = incerteza de A;

ΔB = incerteza de B;

ΔC = incerteza resultante da soma de A e B.

Referências

ALBRÁS (Alumínio Brasileiro S/A) Albrás – Informações Institucionais
<http://www.albras.net/infoinstitucional.htm> (acessado em 20/03/2008), 2008a.

ALBRÁS (Alumínio Brasileiro S/A) Albrás – Informações Institucionais
<http://www.albras.net/Relatorios/RelatorioAnual2007ALBRAS.pdf> (acessado em 20/03/2008), 2008b.

ALBRÁS (Alumínio Brasileiro S/A) Albrás – Infraestrutura
<http://www.albras.net/infraestrutura.htm> (acessado em 20/03/2008), 2008c.

AGEIS (Australian Greenhousegases Information System) Glossary
<http://www.ageis.greenhouse.gov.au/Help/Tutorial/PublicTutorialGlossary.asp#T> (acessado em 23/01/2008), 2008

Albritton, D.L., Allen, M.R., Baede, A.P.M., Church, J.A., 2001: Summary for policymakers. Em: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of de Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K.Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp, 2001

Alley, R. *et al.*, Sumário para Formuladores de Política. Em: *Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) Informações Técnicas
<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=98&idPerfil=2> (acessado em 21/03/2008), 2008.

Centro Oeste Brasil (Centro Oeste Brasil) Sobre Diesel
<http://au.geocities.com/centrooeste/diesel/94u23caCerezzo1.htm> (acessado em 20/03/2008), 2008.

CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos) El Niño e La Niña
www.cptec.inpe.br/enos (acessado em 08/10/2007), 2007.

EPA (Environmental Protection Agency)
[http://yosemite.epa.gov/oar/GlobalWarming.nsf/UniqueKeyLookup/LHOD5MJTD8/\\$File/2003-final-inventory_annex_s.pdf](http://yosemite.epa.gov/oar/GlobalWarming.nsf/UniqueKeyLookup/LHOD5MJTD8/$File/2003-final-inventory_annex_s.pdf) (acessado em 14/03/2008), 2008.

FETRANCEC (Federação das Empresas de Transportes de Cargas no Estado de Santa Catarina) Notícias
<http://www.fetrancec.com.br/index.php?codwebsite=&codpagina=00017198&codnoticia=0000010780> (acessado em 15/03/2008)

GASPET (Programa da Indústria Catarinense Fornecedora de Bens e Serviços Para o Setor de Petróleo e Gás Natural)
<http://www.gaspnet.com.br/retornonot.asp?iNoticia=2847&iTipo=1&page=0&idioma=1> (acessado em 20/03/2008), 2008.

Garg, A., Kazunari, K., Pulles, T., Introduction. Em: *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan, 2006.

GHG Protocol (The Greenhouse Gas Protocol Initiative) About
<http://www.ghgprotocol.org> (acessado em 13/12/2007), 2007.

GHG Protocol (The Greenhouse Gas Protocol Initiative) Calculation Tools
<http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/aluminum-sector> (acessado em 14/01/2008), 2008a.

GHG Protocol (The Greenhouse Gas Protocol Initiative) Corporate Standards http://www.ghgprotocol.org/files/ghg_protocol_portuguese.pdf (acessado em 28/02/2008), 2008b.

Gillenwater, M., Calculation Tool for Direct Emissions for Stationary Combustion, version 3.0, July 2005.

Gómez, D., Watterson, J., Stationary Combustion. Em: *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan, 2006.

Guia de Informação. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002, 1ª edição.

IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia) Clima em Revista <http://www.climaedesmatamento.org.br/revista/ver/14> (acessado em 05/03/2008), 2008a.

IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia) Clima e Desmatamento http://www.climaedesmatamento.org.br/files/general/P22_ARTIGO_IPAM.pdf (acessado em 05/03/2008), 2008b.

IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) Glossário http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/518.htm (acessado em: 26/10/2007) 2007a

IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) Programa para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/org/aboutNGGIP.htm> (acessado em 13/12/2007), 2007c

IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) Sobre o IPCC
<http://www.ipcc.ch/about/index.htm> (acessado em 13/12/2007), 2007b

ISO 14064-1: Specification with guidance at the organizational level for quantification and reporting of greenhouse gas emission and removals.

Kapshe, M., Road Transportation, Mobile Combustion. Em: *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan, 2006.

Marks, J., *et al*, Primary aluminium production. Em: *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan, 2006.

MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) Mecanismos de Desenvolvimento Limpo - Anexo III – Contribuição do Projeto de Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa na ALBRÁS, Alumínio Brasileiro S.A, para o Desenvolvimento Sustentável
<http://www.mct.gov.br/content/view/66650.html> (acessado em 15/01/2008) 2008c.

MCT (Ministério de Ciência de Tecnologia) Convenção sobre Mudança do Clima,
<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17335.html> (acessado em 10/10/2007), 2007a

MCT (Ministério de Ciência de Tecnologia) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/68296.html> (acessado em 21/01/2008), 2008b

MCT (Ministério de Ciência de Tecnologia) Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/50862.html> (acessado em 21/01/2008),
2008a

MCT (Ministério de Ciência de Tecnologia) Texto da Convenção da Mudança do Clima
<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4092.html> (acessado em 10/10/2007),
2007b

Penman,J., Gytarsky,M., Irving,W.,Krug, T., Hiraishi T., Overview. Em: *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan, 2006.

PETROBRÁS (Petróleo Brasileiro S/A) Tecnologia – Prêmio Petrobrás de Tecnologia
http://www2.petrobras.com.br/minisite/premiotecnologia/pdf/TecnologiaGas_GasNatural_Motores.pdf (acessado em 20/03/2008), 2008.

Portal BR (Petrobrás Distribuidora S/A) Dúvidas
<http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf#http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf/0/2D5DEA50BF8503FE03256E69004E1150?OpenDocument&SDuvidas> (acessado em 20/03/2008), 2008.

Quatro Rodas (Guia Quatro Rodas)
http://200.221.3.29/ViajeAquiRod/rotaxml.asp?arq=200.221.3.29/temp3/8336_guia4rodasr odovias_100003_rotamultipontorodoviasdb_09042008_160636
(acessado em 15/03/2008), 2008.

Quatro Rodas (Guia Quatro Rodas)
http://200.221.3.29/ViajeAquiRod/rotaxml.asp?arq=200.221.3.29/temp3/8335_guia4rodasr odovias_100003_rotamultipontorodoviasdb_10042008_005334 (acessado em 15/03/2008), 2008b

Rypdal, K., Paciorek, N., Introduction to the 2006 Guidelines. Em: *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan, 2006.

Valesul (Valesul Alumínio S/A) Produtos – Participação no Mercado <http://www.valesul.com.br/cpub/pt/site/produtos.php> (acessado em 15/03/2008), 2008.

USP (Universidade São Paulo) Instituto de Física <http://dfn.if.usp.br/~suaide/fap0152> (acessado em 15/03/2008), 2008.

Waldron, C.D., Railway Transportation, Mobile Combustion. Em: *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan, 2006.