



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS DE GUARATINGUETÁ**

IGOR VINÍCIUS PERISSINOTTO BONFÁ

**AVALIAÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA A
PARTIR DO CARVÃO**

**Guaratinguetá
2012**

IGOR VINÍCIUS PERISSINOTTO BONFÁ

AVALIAÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA A PARTIR DO CARVÃO

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Câmpus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Júnior.

Guaratinguetá
2012

B713a	Bonfá, Igor Vinicius Perissinotto Avaliação dos gases de efeito estufa a partir do carvão / Igor Vinicius Perissinotto Bonfá. - Guaratinguetá: [s.n.], 2012 69 f.: il. Bibliografia: f. 68-69 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012 Orientador: Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Júnior Co orientador: Prof. Dr. José Nedilo Carrinho de Castro 1. Gases 2. Efeito estufa 3. Carvão I. Título
	CDU 621.6.02



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS DE GUARATINGUETÁ

AVALIAÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA A PARTIR DO CARVÃO

IGOR VINÍCIUS PERISSINOTTO BONFÁ

**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**


Prof. Dr. Antonio Wagner Forti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JÚNIOR
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ NÊDILO CARRINHO DE CASTRO
UNESP-FEG


Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA
UNESP-FEG

Guaratinguetá
Dezembro de 2012

DADOS CURRICULARES

IGOR VINÍCIUS PERISSINOTTO BONFÁ

NASCIMENTO	16.01.1987 – CAMPINAS / SP
FILIAÇÃO	Ângelo Aparecido Bonfá Maria José Perissinotto Bonfá
2003/2006	Curso Técnico Mecânica com ênfase em Automação e Controle – Colégio Técnico de Campinas (CTC) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
2007/2012	Curso de Graduação Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia do Câmpus de Guaratinguetá (FEG) da Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Dedico este trabalho aos meus pais, que em todas as épocas da minha vida me apoiam com incentivos e elogios. Ao meu irmão mais velho Marcio, que costuma me dar conselhos muito valiosos. E à minha namorada Aline, que me suporta e incentiva as grandes decisões de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que possibilita a Vida, em especial pela minha vida, inteligência, família e amigos.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Júnior* que me apoiou na elaboração deste trabalho. Sem sua dedicação, auxílio e conhecimento este trabalho não poderia ser finalizado.

Aos meus pais, *Ângelo e Maria* que me sempre me apoiaram com o objetivo de formar uma pessoa com ética e cidadania.

Ao meu irmão *Marcio*, grande conselheiro dos rumos que eu posso tomar em minha vida para ser bem-sucedido em tudo o que faço, e farei.

À todos os funcionários da *FEG-UNESP* que estão ali para formar grandes pessoas e profissionais.

À toda a minha *família* que, mesmo estando longe, não deixou de me contatar e passar o amor, carinho e dedicação que todos gostam de ter.

“O Homem argumenta, a Natureza age.”

Voltaire

BONFA, I. V. P. **Avaliação dos Gases de Efeito Estufa a partir do Carvão.** 2012. 69 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Câmpus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

Neste trabalho o contexto das emissões de gases de efeito estufa (GEE) a partir das atividades relacionadas ao carvão, chamadas emissões fugitivas, é abordado. São realizados o levantamento dos fatores, desenvolvimento, análise, e sugestões de controle das emissões a fim de diminuir os riscos ao meio-ambiente e às pessoas ao seu redor.

Os gases de efeito estufa absorvem a radiação emitida pela superfície terrestre, e dificultam seu escape para o espaço, processo fundamental para a vida terrestre. O aumento da concentração desses gases na atmosfera tem provocado um aumento da temperatura terrestre.

São realizados uma seleção dos processos que emitem gases, e o estudo e desenvolvimento de cálculos para medição das emissões fugitivas aplicadas em diferentes fontes a partir das atividades relacionadas ao carvão. Os gases de efeito estufa podem ser liberados a partir da extração, processamento, armazenamento e transporte de combustíveis fósseis ao consumidor final, nestes casos. O carvão apresenta 4 principais fatores de emissões fugitivas: atividades de mineração, pós-mineração, oxidação a baixa temperatura, e combustão descontrolada. O processo de formação do carvão produz metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), no momento de sua extração estes gases são liberados, sendo o metano, o principal gás de efeito estufa proveniente da mineração e manuseio do carvão.

São observados os tipos de atividades e o peso de cada um em todo o processo de emissão. São realizados também comparativos entre os países que possuem as maiores taxas de emissões. É avaliado o que tem sido feito e o que é necessário fazer para as emissões diminuírem, como, por exemplo, a utilização dos gases como uma alternativa de combustíveis para a geração de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Gases de efeito estufa. Emissões fugitivas. Carvão. Metano.

BONFA, I. V. P. **Coal Greenhouse Gas Analysis**. 2012. 69 p. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Câmpus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

This paper addresses the context of emissions of Greenhouse Gases (GHG) from activities related to Coal, called fugitive emissions. The survey of factors, development, analysis, and suggestions for controlling emissions are conducted in order to reduce risks to the environment and people around it.

The greenhouse gases absorb radiation, emitted by the Earth's surface, and hinder their escape into space. This process is essential to terrestrial life. Increasing the concentration of those gases in the atmosphere has led to an increase in the terrestrial temperature.

A selection of processes that emit gases and the study and development of calculations for measuring fugitive emissions applied in different sources from coal are performed. The greenhouse gases can be released from the extraction, processing, storage, and transportation of fossil fuels to the end consumer. Coal has 4 main fugitive factors: mining, post-mining, oxidation at low temperature, and uncontrolled combustion. The coal formation process produces methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂), being the methane, the main greenhouse gas from the coal mining and handling.

The types of activities and the weight of each in the issuing process are observed. It is also made comparisons between the countries with the highest emissions rates. Are evaluated what has been done and what is needed to decrease emissions, for example the use of gas as an alternative fuel for energy generation.

KEYWORDS: Greenhouse gases. Fugitive emissions. Coal. Methane.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA	16
2.1	MUDANÇA CLIMÁTICA	16
2.2	RESPONSABILIDADE DO SER-HUMANO	16
2.3	MUDANÇA CLIMÁTICA IRÁ AFETAR A TODOS	17
2.4	FAZENDO A DIFERENÇA	17
2.5	TIPOS DE GASES DE EFEITO ESTUFA	18
2.6	FONTES DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA	20
2.7	TENDÊNCIA DAS EMISSÕES GLOBAIS DE GASES DE EFEITO ESTUFA .	21
2.8	EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR PAÍS	22
3	O METANO	23
3.1	EMISSÕES DE METANO	23
3.2	TENDÊNCIAS DAS EMISSÕES DE METANO	24
3.3	REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO	25
4	EMISSÕES FUGITIVAS A PARTIR DO CARVÃO	26
4.1	MINERAÇÃO, PROCESSAMENTO, ARMAZENAMENTO, E TRANSPORTE DE CARVÃO	26
4.2	MINERAÇÃO E MANUSEIO DO CARVÃO	26
4.3	MINAS SUBTERRÂNEAS	27
4.3.1	MINAS SUBTERRÂNEAS ATIVAS DE CARVÃO	27
4.3.2	MINAS SUBTERRÂNEAS ABANDONADAS DE CARVÃO	28
4.4	MINAS A CÉU ABERTO	28
4.4.1	MINAS A CÉU ABERTO ATIVAS DE CARVÃO	28
4.4.2	MINAS A CÉU ABERTO ABANDONADAS DE CARVÃO	29
5	CONSIDERAÇÕES RELEVANTES	30
6	CÁLCULO DE EMISSÕES DE MINAS SUBTERRÂNEAS DE CARVÃO	31
6.1	ESCOLHA DO MÉTODO	32
6.1.1	MINERAÇÃO	32
6.1.2	PÓS-MINERAÇÃO	32
6.1.3	OXIDAÇÃO À BAIXA TEMPERATURA	32
6.2	ESCOLHA DE FATORES DE EMISSÕES PARA MINAS SUBTERRÂNEAS .	34
6.2.1	MINERAÇÃO	34

6.2.2	PÓS-MINERAÇÃO	35
6.2.3	EMISSÕES DRENADAS DE METANO	36
6.3	ATIVIDADES RELACIONADAS ÀS MINAS SUBTERRÂNEAS	38
6.4	INCERTEZAS RELACIONADAS ÀS ATIVIDADES	38
6.4.1	INCERTEZAS RELACIONADAS AOS FATORES DE EMISSÃO DOS MÉTODOS “ <i>TIERS 1 E 2</i> ”	38
6.4.2	INCERTEZAS RELACIONADAS AOS FATORES DE EMISSÃO DO MÉTODO “ <i>TIER 3</i> ”	39
7	MINERAÇÃO A CÉU ABERTO DE CARVÃO	41
7.1	ESCOLHA DO MÉTODO	41
7.2	ESCOLHA DOS FATORES DE EMISSÕES PARA MINERAÇÃO	42
7.3	ESCOLHA DOS FATORES DE EMISSÕES PARA PÓS-MINERAÇÃO	44
7.4	ATIVIDADES RELACIONADAS ÀS MINAS A CÉU ABERTO DE CARVÃO.	44
7.5	INCERTEZAS RELACIONADAS AOS FATORES DE EMISSÃO	44
8	MINAS SUBTERRÂNEAS ABANDONADAS DE CARVÃO	45
8.1	ESCOLHA DO MÉTODO	45
8.2	ESCOLHA DOS FATORES DE EMISSÕES PARA MINAS SUBTERRÂNEAS ABANDONADAS	48
8.2.1	“ <i>TIER 1</i> ”: MÉTODO GLOBAL MÉDIO	48
8.2.2	“ <i>TIER 2</i> ”: MÉTODO REGIONAL MÉDIO	50
8.2.3	“ <i>TIER 3</i> ”: MÉTODO ESPECÍFICO	53
8.4	ATIVIDADES RELACIONADAS ÀS MINAS SUBTERRÂNEAS ABANDONADAS DE CARVÃO	54
8.5	INCERTEZAS RELACIONADAS ÀS EMISSÕES	54
9	VISÃO GERAL DAS EMISSÕES MUNDIAIS DE METANO	56
9.1	CHINA	57
9.2	ESTADOS UNIDOS	58
9.3	ÍNDIA	59
10	BENEFÍCIOS DA RECUPERAÇÃO, RECUPERAÇÃO E MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO A PARTIR DO CARVÃO	60
11	TECNOLOGIAS PARA UTILIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO A PARTIR DAS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO	61
11.1	INJEÇÃO EM LINHAS DE GÁS NATURAL	62
11.2	PROCESSAMENTO DE GÁS	62

11.3	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	63
12	VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO	64
13	CONCLUSÕES	65
14	SUGESTÕES PARA OUTROS TRABALHOS	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Os objetivos deste trabalho são avaliar a emissão de gases de efeito estufa a partir do carvão, analisar e desenvolver as emissões fugitivas a partir de diferentes fontes relacionadas ao carvão, e sugerir o controle das emissões a fim de diminuir os riscos ao meio ambiente e ao seu redor.

Os gases de efeito estufa podem ser liberados, intencionalmente ou não, através da extração, processamento, armazenamento, ou entrega de combustíveis fósseis ao consumidor final (*IPCC Guidelines, 2006*).

Neste trabalho serão abordadas as Emissões Fugitivas relacionadas ao Carvão (Mineração, Pós-Mineração, Oxidação a Baixa Temperatura, e Combustão Descontrolada).

O processo de formação do carvão produz metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). O CH_4 é o principal gás de efeito estufa proveniente da mineração e manuseio do carvão. As principais etapas para as emissões fugitivas dos gases a partir de minas de carvão subterrâneas e a céu aberto serão apresentadas neste trabalho.

Também serão apresentados os sistemas de retirada dos gases provenientes das atividades relacionadas ao carvão, como por exemplo, Ventilação, e Sistemas de Desgaseificação.

Minas de carvão abandonadas (fechadas) após o encerramento da produção viável de carvão, também continuam a liberar gases, porém em menor intensidade.

Comparativos serão realizados para constituir um ranking de emissões, e avaliar qual tipo de atividade é a que gera maior quantidade de gases de efeito estufa. Para tal, serão apresentados os “*Tiers*” (métodos de estimativas de emissões fugitivas de uma amostra).

Distribuições mundiais são altamente recomendadas a fim de determinar onde é preciso atuar para minimizar ou eliminar as emissões de gases de efeito estufa a partir do carvão. Atualmente, os maiores produtores de carvão, e, conseqüentemente, os maiores emissores são a China, os Estados Unidos, Rússia, Austrália, Ucrânia e Índia.

A China é a maior produtora e consumidora de carvão em todo o mundo, contribuindo em cerca de 70% do total de energia consumida pelo país (*Cheng et al., 2011*).

Nos Estados Unidos, a parcela de geração de energia pelo carvão apresentou um valor de 39% em agosto de 2012, frente a um valor de 32% em abril do mesmo ano, porém estes valores são notadamente inferiores à média de 50% no período de 1990-2010 (*U.S. EIA*). Isto devido ao uso de sistemas de geração de energia mais limpas e de menor custo, como o gás natural.

Os principais benefícios para a utilização do Metano proveniente das emissões fugitivas são:

- Redução de emissões de Gases de Efeito Estufa;
- Utilização de uma fonte de energia limpa e de baixo custo;
- Aumento da segurança da mina diminuindo a concentração de gases;
- Maior receita gerada pelas minas.

O metano é extraído através de diversos processos. Porém, este gás, não é inteiramente aproveitado, uma vez que, depende da qualidade e quantidade em que é extraído. Alguns projetos de aproveitamento do gás de forma limpa e de baixo custo serão mostrados a seguir:

- Injeção de gás metano em gasoduto de gás natural;
- Geração de energia;
- Oxidação do metano contido na ventilação da mina;
- Geração de energia elétrica local (Mina);
- Utilização como combustível de máquinas e caldeiras;
- Queima para diversos fins.

2 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

2.1 MUDANÇA CLIMÁTICA

O planeta Terra está em aquecimento. A temperatura média ao redor do globo ao longo do século passado sofreu um aumento de 0,78 °C, e as projeções indicam que o aumento pode ser de 1,11 °C a 6,39 °C (*EPA, 2012*) nos próximos 100 anos.

Pequenas mudanças na temperatura média podem resultar em grandes e potenciais transformações no clima do planeta. Muitos lugares têm sentido as mudanças, como por exemplo: inundações, secas, chuvas com maior intensidade, bem como, ondas de calor mais frequentes e intensas. Os oceanos estão aquecendo e se tornando mais ácidos, calotas de gelo estão derretendo, elevando o nível do mar. A partir destas constatações, fica ainda mais evidente o desafio imposto à nossa sociedade e ao meio-ambiente (*U.S. EPA*).

2.2 RESPONSABILIDADE DO SER-HUMANO

Ao longo do século passado, as atividades humanas lançaram grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito-estufa para a atmosfera. A maioria dos gases são provenientes da queima de combustíveis fósseis para a produção de energia, porém, o desmatamento, os processos industriais, e algumas práticas agrícolas também têm suas parcelas de contribuição (*U.S. EPA*)

Os gases agem como se fossem um cobertor ao redor da Terra, segurando energia na atmosfera e aquecendo-a. Este fenômeno é conhecido como Efeito Estufa, é natural e se faz necessário para a manutenção da vida terrestre. Porém, um acúmulo dos gases de efeito-estufa pode acarretar em alteração do clima na Terra resultando em perigosos efeitos para a saúde humana e para os ecossistemas.

As ações da sociedade hoje vão afetar a quantidade de gases que será lançada na atmosfera nos próximos anos.

2.3 MUDANÇA CLIMÁTICA IRÁ AFETAR A TODOS

As sociedades humanas se adaptaram ao clima relativamente estável imposto desde a última era glacial, que terminou há milhares de anos. Um clima mais quente trará mudanças que podem afetar as fontes de água, energia, agricultura, sistemas de transporte, o ambiente natural, e até a própria saúde e segurança dos seres humanos.

O dióxido de carbono pode permanecer na atmosfera durante quase um século, por isso a Terra continuará em aquecimento nas próximas décadas. Quanto mais quente, maiores são os riscos de mudanças cada vez mais severas para o clima do planeta. Embora seja difícil prever exatamente os impactos das alterações climáticas, é evidente que não se tem mais uma garantia confiável do clima em que estamos acostumados para o futuro (*U.S. EPA*).

A sociedade, ao fazer escolhas que ajudem a reduzir a poluição de gases de efeito estufa e preparar para as mudanças que já estão em andamento, irá reduzir os riscos das mudanças climáticas. As decisões de hoje vão moldar o mundo das próximas gerações.

2.4 FAZENDO A DIFERENÇA

Todos podem tomar medidas em casa, na estrada, e no escritório para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e os riscos associados à mudança climática. Através dessas medidas é possível economizar dinheiro, e, também, melhorar a saúde através de uma caminhada ou ida ao trabalho de bicicleta. É possível também se envolver em um nível local ou estadual para apoiar a eficiência energética, programas de energia limpa, e outros programas climáticos.

É possível calcular a emissão de carbono de cada ser humano e encontrar formas de reduzir as emissões através de simples ações cotidianas (*U.S. EPA*).

2.5 TIPOS DE GASES DE EFEITO ESTUFA

De acordo com a *U.S. EPA, 2010*, os principais gases de efeito estufa são:

- Dióxido de Carbono (CO_2 – 77% do total de emissões globais de gases de efeito estufa em 2004): O dióxido de carbono é inserido na atmosfera pela queima de combustíveis fósseis (carvão, gás natural e petróleo), resíduos sólidos, árvores e produtos de madeira, e também como resultado de reações químicas (fabricação de cimento). Este gás é removido da atmosfera quando absorvido pelas plantas como parte do processo de fotossíntese.
- Metano (CH_4 – 14% do total): O metano, que será o gás em estudo aqui neste trabalho, é emitido durante a produção e transporte de carvão, gás natural e petróleo. Também pode ser proveniente de atividades relacionadas à pecuária e outras práticas agrícolas, além da decomposição de resíduos orgânicos em aterros municipais.
- Óxido Nitroso (N_2O – 8% do total): O óxido nitroso é emitido através de atividades agrícolas e industriais, assim como pela combustão de combustíveis fósseis e resíduos sólidos.
- Gases Fluorados (Gases-F – 1% do total): Hidrofluorcarbonetos, perfluorcarbonetos e hexafluoreto de enxofre são poderosos gases sintéticos de efeito estufa emitidos através de diversos processos industriais. Estes gases são usados como substitutos para as substâncias destruidoras de ozônio da estratosfera (clorofluorcarbonos, hidroclorofluorcarbonos, e halons). Estes gases são emitidos em pequenas quantidades, porém são referenciados como gases de alto potencial de aquecimento global.

É preciso levar em consideração três fatores principais para se calcular quais os efeitos de cada tipo de gás no clima terrestre: a quantidade de gases que estão na atmosfera, quanto tempo os gases permanecem na atmosfera, a intensidade do impacto de cada gás no clima terrestre.

A quantidade de gás contida no ar pode ser chamada de concentração, e é medida em partes por milhão, partes por bilhão, e até mesmo em partes por trilhão. Cada um dos gases pode permanecer na atmosfera por diferentes quantidades de tempo, porém suficiente para uma mistura homogênea ao redor do globo, o que significa que a quantidade medida na atmosfera em um determinado local é aproximadamente a mesma em qualquer outro lugar, independente da origem das emissões (U.S. EPA, 2010).

Alguns gases são mais eficazes em tornar o planeta mais quente. Para cada gás, um Potencial de Aquecimento Global é calculado para refletir o tempo que permanece, em média, na atmosfera, e quão forte ele absorve energia. Gases com maiores potenciais absorvem mais energia por quilo do que gases com menores potenciais contribuindo, assim, ainda mais com o aquecimento global.

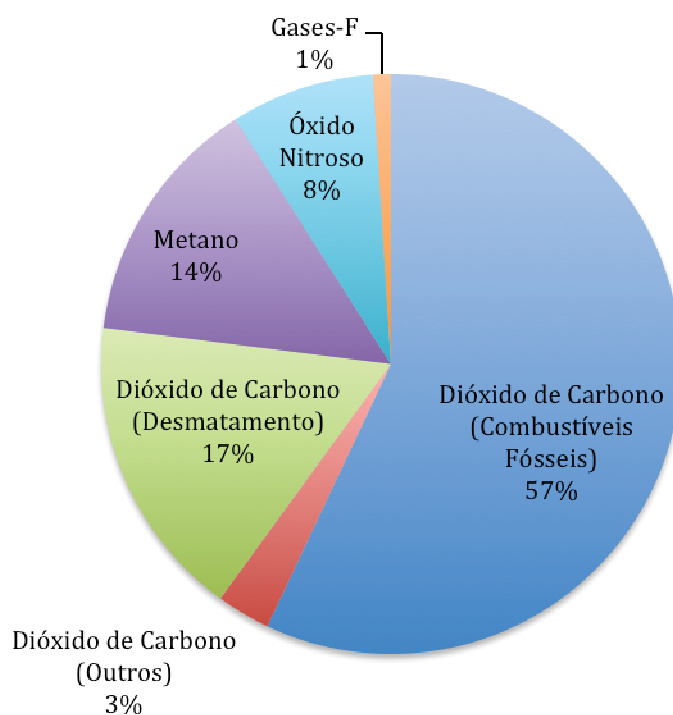


Gráfico 2.1: Emissões Globais por Gás de 2004 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

2.6 FONTES DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

De acordo com a *U.S. EPA, 2010*, as emissões de gases de efeito estufa também são divididas pelas atividades econômicas responsáveis por sua produção.

- Fornecimento de Energia (26% do total de emissões globais de gases de efeito estufa em 2004): A queima de carvão, gás natural, e petróleo para a produção de eletricidade e calor é maior fonte de emissões de gases de efeito estufa.
- Indústria (19% do total): As emissões de gases de efeito estufa da indústria envolvem, principalmente, a combustão de combustíveis fósseis no local, para geração de energia. Este setor também inclui as emissões a partir dos processos de transformações químicas, metalúrgicas e minerais, e que não estão associadas com o consumo de energia. (Emissões a partir do uso da eletricidade não estão listadas neste setor, e sim em “Fornecimento de Energia”).
- Uso da Terra e Florestas (17% do total): As emissões provenientes deste setor incluem principalmente o dióxido de carbono (CO_2) a partir do desmatamento para a agricultura, incêndios ou decomposição dos solos de turfa. Esta estimativa não considera o CO_2 removido da atmosfera pelos ecossistemas, algo sujeito a grande incerteza, embora estimativas recentes indicam que, em uma escala global, os ecossistemas removem cerca de duas vezes o valor de dióxido de carbono emitido por causa do desmatamento.
- Agricultura (14% do total): As emissões provenientes da agricultura vêm em sua maior parte da gestão de solos agrícolas, pecuária, produção de arroz, e queima de biomassa.
- Transporte (13% do total): As emissões envolvem a combustão de combustíveis fósseis para transporte rodoviário, ferroviário, aéreo e marítimo. 95% da energia consumida em transportes é proveniente de combustíveis derivados do petróleo.
- Edifícios Residenciais e Comerciais (8% do total): As emissões deste setor são a partir da queima de combustíveis no local para geração de energia, aquecimento dos edifícios e preparo de refeições.
- Resíduos e Efluentes (3% do total): A maior fonte de emissões no setor é a partir de aterros sanitários, seguido pelas águas residuais, e acabam gerando o metano (CH_4), e também o óxido nitroso (N_2O). Incineração de resíduos sólidos também resulta, em menor parcela, a emissão de dióxido de carbono (CO_2).

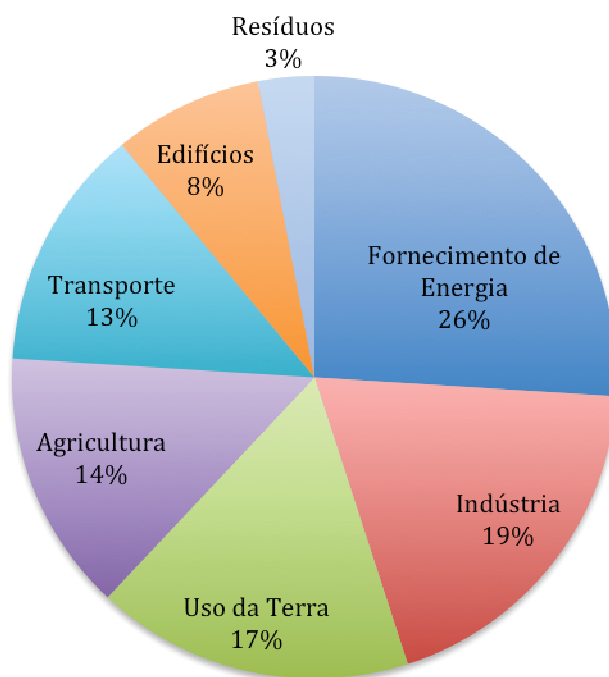


Gráfico 2.2: Emissões Globais por Fonte de 2004 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

2.7 TENDÊNCIA DAS EMISSÕES GLOBAIS DE GASES DE EFEITO ESTUFA

As emissões globais de carbono, a partir de combustíveis fósseis, aumentaram significativamente desde 1900. As emissões aumentaram em 16 vezes entre 1900 e 2008, e cerca de 1,5 vez entre 1990 e 2008 (Boden, T.A., G. Marland, and R.J. Andres, 2010).

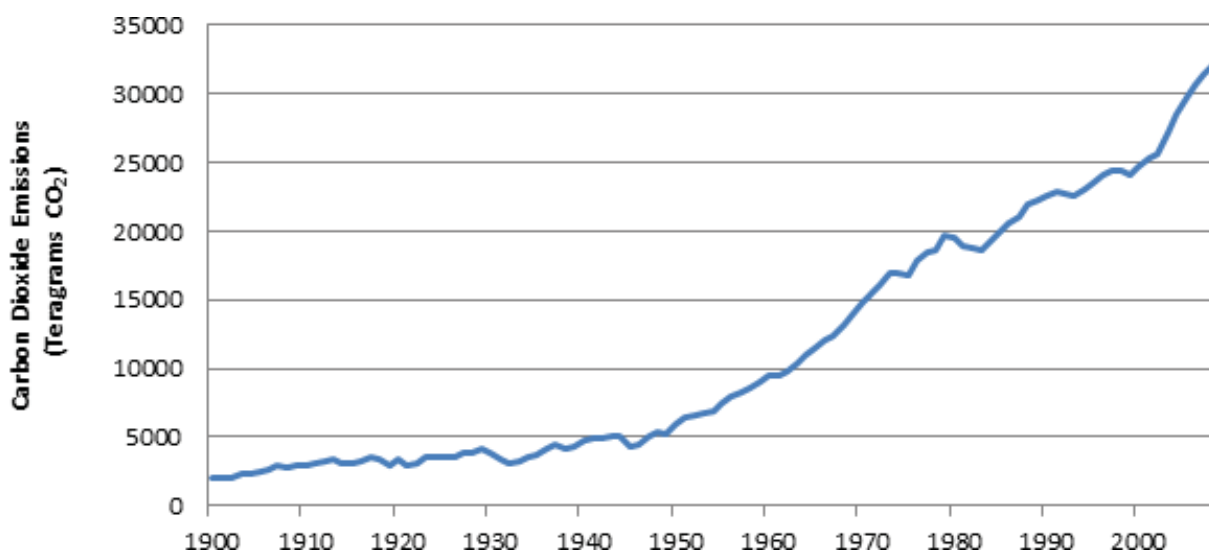


Gráfico 2.3: Emissões Globais de Dióxido de Carbono a partir de Combustíveis Fósseis entre 1900 e 2008 (Boden, T.A., G. Marland, and R.J. Andres, 2010. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions).

2.8 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR PAÍS

Em 2008, os maiores emissores de dióxido de carbono (CO₂) foram a China, os Estados Unidos, a União Europeia, Índia, a Federação Russa, Japão e o Canadá. Os dados incluem emissões de CO₂ a partir da combustão de combustíveis fósseis, assim como, a produção de cimento, e a queima de gases. Juntos, estas fontes representam uma grande porção do total de emissões de CO₂ (U.S. EPA, 2010).

Emissões relacionadas ao uso da terra não estão incluídas nestas estimativas. Entretanto, o uso da terra pode ser muito importante, estimativas globais indicam que o desmatamento pode ser responsável por 5 bilhões de toneladas de CO₂, ou por volta de 16% das emissões provocadas pelas fontes de combustíveis fósseis. Os desmatamentos tropicais na África, Ásia e na América do Sul são vistos como os maiores contribuintes de emissões a partir do uso da terra. Nos Estados Unidos e na Europa o uso da terra associado com as atividades humanas tem servido para absorver o CO₂ emitido pelas outras regiões a partir do desmatamento.

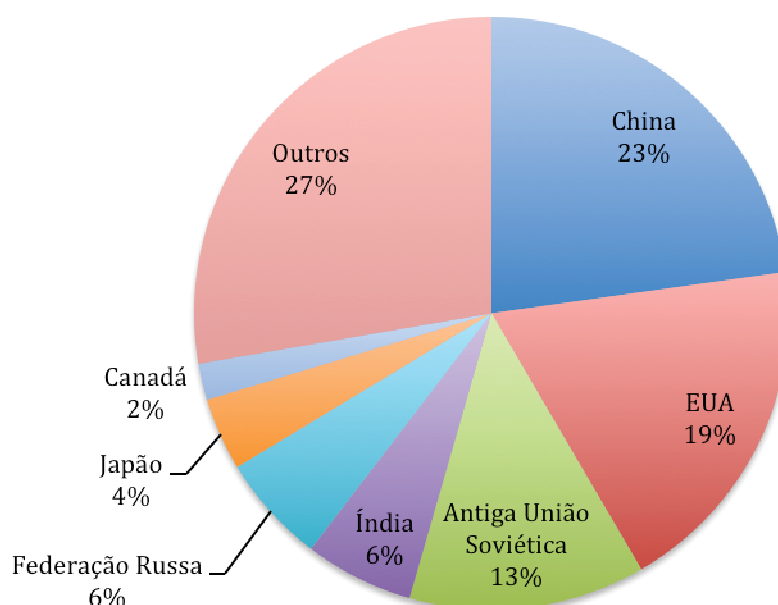


Gráfico 2.4: Emissões Globais de CO₂ a partir da Queima de Combustíveis Fósseis e Processos Industriais de 2008 (National CO₂ Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring, 1751-2008).

3 O METANO

3.1 EMISSÕES DE METANO

O objetivo maior deste trabalho é estudar e analisar as emissões fugitivas a partir do carvão, neste caso, o principal gás emitido é o metano, logo, é necessário fazer uma breve introdução do metano que segue abaixo.

O metano (CH_4) é o segundo gás de efeito estufa de maior emissão nos Estados Unidos a partir de atividades humanas. Em 2010, o CH_4 teve uma parcela de 10% de todas as emissões no país. O metano é emitido por fontes naturais, como pântanos, e pelas atividades humanas através de vazamentos em sistemas de gás natural, na indústria de petróleo, e na indústria de carvão. Processos naturais em solo, e reações químicas provocadas na atmosfera ajudam a remover o CH_4 do meio-ambiente. O tempo de vida do metano (CH_4) na atmosfera é bem menor do que o tempo de vida do dióxido de carbono (CO_2), porém o metano é mais eficiente em manter a radiação solar do que o dióxido de carbono. Comparativamente, o impacto do metano no clima terrestre é 20 vezes maior do que o impacto do dióxido de carbono em um período de 100 anos, de acordo com o *Inventory of U.S. Greenhouse Gas and Sinks, 2010*.

Mundialmente, 60% do total de emissões de metano é proveniente de atividades humanas. CH_4 é emitido pela indústria em geral, agricultura, e no gerenciamento de resíduos.

- Indústria: os sistemas de gás natural, petróleo, e a indústria do carvão são os maiores responsáveis pela emissão de metano no mundo. Metano é o componente primário do gás natural. As emissões são provenientes da produção, processamento, armazenagem, transporte, e distribuição de gás natural, petróleo e carvão.
- Agricultura: Rebanhos domésticos de vacas, búfalos, ovelhas, cabras e camelos produzem uma porção razoável de CH_4 como parte de um processo natural de digestão destes animais. Devido ao fato de que, geralmente, os humanos criam estes animais para consumo de comida é necessário associá-los às atividades humanas. Mundialmente, o setor agrícola é o maior emissor de metano.
- Resíduos: Metano é gerado a partir da decomposição de resíduos e do tratamento de esgoto.

Metano é emitido por numerosas fontes naturais, principalmente por pântanos, onde as bactérias que ali existem decompõem materiais orgânicos na ausência de oxigênio. Oceanos, sedimentos, vulcões, entre outros, também tem sua parcela de emissões, porém em menor intensidade.

3.2 TENDÊNCIAS DAS EMISSÕES DE METANO

De acordo com o *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks*, as emissões de metano nos Estados Unidos diminuíram menos de 1% entre 1990 e 2010. Emissões a partir de fontes associadas à agricultura e exploração e produção de gás e petróleo aumentaram. Entretanto, estes aumentos foram amenizados pela redução nas emissões associada ao reaproveitamento do metano em aterros e a um melhoramento nos sistemas de produção e distribuição de gás natural, petróleo e carvão.

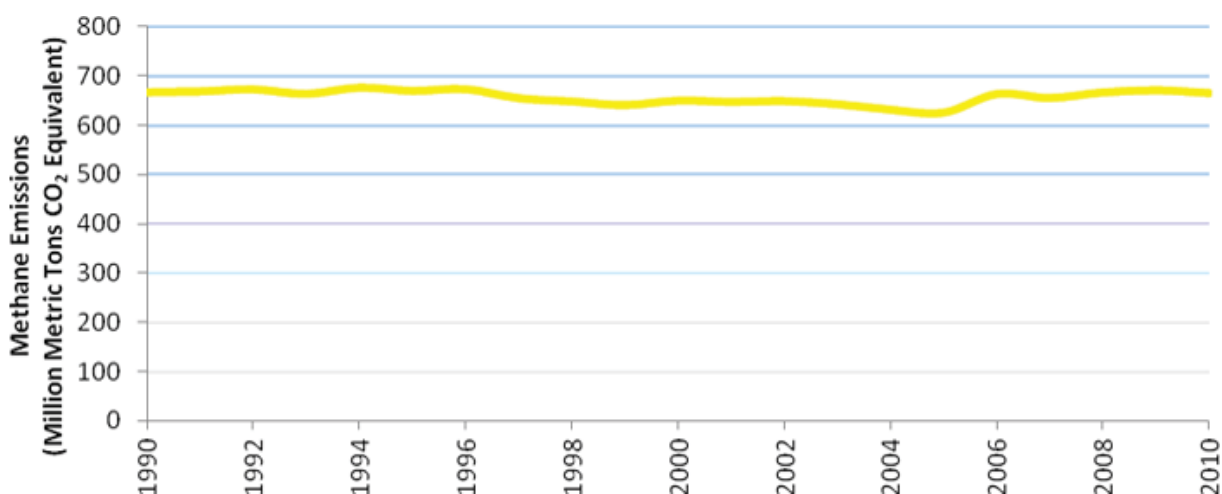


Gráfico 3.1: Emissões de Metano nos Estados Unidos entre 1990-2010 (*Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks, 1990-2010*).

Para o futuro, é esperado que as emissões de metano aumentem em 8% entre 2005 e 2020. O aumento é devido ao maior consumo de gás natural, porém, é esperado que parte deste aumento seja mitigado pela captura de CH₄ em aterros, minas de carvão, e sistemas de uso de resíduos orgânicos de animais.

3.3 REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO

Fontes de Emissão	Como Reduzir as Emissões
Indústria	Melhorar os equipamentos de produção, armazenagem, e transporte de gás, petróleo e carvão para que seja possível diminuir emissões e capturar as emissões provenientes destes processos para posterior uso.
Agricultura	O metano pode ser reduzido e capturado alterando as estratégias de manuseio dos rebanhos ou as práticas de alimentação dos animais.
Resíduos	A captura de metano a partir de aterros é uma ótima estratégia de se reduzir as emissões e, inclusive, se obter uma fonte de energia limpa, simples e de baixo custo.

Fonte: U.S. EPA, 2010.

4 EMISSÕES FUGITIVAS A PARTIR DO CARVÃO

4.1 MINERAÇÃO, PROCESSAMENTO, ARMAZENAMENTO, E TRANSPORTE DE CARVÃO

Emissões de gases de efeito estufa, intencionais ou não-intencionais, podem ocorrer durante a extração, processamento, e a entrega de combustíveis fósseis até o consumidor final. Estas emissões são conhecidas como emissões fugitivas. Emissões fugitivas relacionadas às atividades da indústria de carvão serão descritas a seguir.

4.2 MINERAÇÃO E MANUSEIO DO CARVÃO

O processo geológico de formação do carvão produz metano (CH_4), e dióxido de carbono (CO_2). Estes gases se mantêm no carvão até que uma determinada amostra seja quebrada e exposta durante o processo de mineração. O metano (CH_4) é o principal gás de efeito estufa emitido pela mineração e manuseio do carvão. As principais atividades relacionadas às emissões da indústria do carvão são, de acordo com o *IPCC, 2006*:

- Emissões da Mineração: São resultantes da liberação do gás armazenado durante o processo de quebra, e da extração do carvão durante as atividades de mineração.
- Emissões da Pós-Mineração: Nem todo o gás armazenado é liberado durante as atividades de mineração, as emissões referentes às atividades de manuseio, processamento e transporte do carvão são denominadas “Emissões da Pós-Mineração”. Logo, o carvão continua emitindo gases após ter sido extraído, porém em menores quantidades.
- Oxidação à Baixa Temperatura: Emissões ocorrem quando o carvão é exposto ao ar atmosférico (Oxigênio), desta forma o carvão oxida produzindo dióxido de carbono (CO_2). Porém, a taxa de formação de CO_2 para este processo ainda é considerado baixo.
- Combustão Descontrolada: O calor produzido pela oxidação é armazenado no carvão podendo ocasionar em combustão. Isto é vulgarmente conhecido como combustão descontrolada, e é a manifestação mais extrema da oxidação. É caracterizada por uma reação rápida, com chamas visíveis e formação rápida de CO_2 , podendo ser natural ou antropogênico.

Após as atividades de mineração serem encerradas, as minas de carvão abandonadas continuam emitindo metano e outros gases.

4.3 MINAS SUBTERRÂNEAS

4.3.1 MINAS SUBTERRÂNEAS ATIVAS DE CARVÃO

Nas minas subterrâneas ativas as seguintes fontes de emissões podem ser consideradas:

- Emissões Pós-Mineração.
- Oxidação à Baixa Temperatura.
- Combustão Descontrolada.

Os gases liberados pelas atividades são rejeitados para a atmosfera através da ventilação da mina, e de sistemas de desgaseificação (*IPCC, 2006*).

- Ventilação da Mina: As minas de carvão subterrâneas são normalmente ventiladas através da entrada de ar atmosférico nos túneis subterrâneos a fim de garantir um ambiente seguro de trabalho. O sistema de ventilação leva o CH₄ e o CO₂ para a superfície onde são emitidos para a atmosfera. A concentração de metano no ar é baixa, porém o fluxo de ar de ventilação é alto, conseqüentemente as emissões de metano para a superfície são consideradas significativas.
- Sistema de Desgaseificação da Mina: O sistema de desgaseificação são poços perfurados antes, durante e depois da mineração para que os gases (principalmente o metano) contidos nas camadas de carvão sejam drenados para a atmosfera e não para os túneis subterrâneos. O principal objetivo da desgaseificação de minas é garantir a segurança no ambiente para os trabalhadores da mina de carvão, embora o gás extraído ainda possa ser utilizado como fonte de energia. Este sistema pode ser utilizado também em minas abandonadas a fim de se obter o metano presente.

4.3.2 MINAS SUBTERRÂNEAS ABANDONADAS DE CARVÃO

Após o fechamento de minas de carvão que foram grandes emissoras enquanto ativas, continuam a emitir gases a não ser que haja inundação do local cessando-as. O metano ainda pode ser emitido como resultado de migração de gás através de condutas naturais, ou provocadas pelo homem, como tubos de ventilação, rachaduras e fissuras. As emissões diminuem consideravelmente até atingirem uma taxa constante que pode persistir por um longo período de tempo.

As inundações podem ocorrer através de invasão de águas subterrâneas ou a céu aberto. Através da inundação é possível cessar a emissão de metano, emissões de minas totalmente inundadas podem ser desconsideradas, enquanto que em minas parcialmente inundadas é possível considerá-las como se não houvesse a inundação (*IPCC, 2006*).

Outra fonte potencial de emissões é quando ocorre a combustão descontrolada em minas abandonadas de carvão, porém não existem métodos para se estimar quais seriam as emissões potenciais para estes casos específicos.

4.4 MINAS A CÉU ABERTO

4.4.1 MINAS A CÉU ABERTO ATIVAS DE CARVÃO

Nas minas a céu aberto ativas as seguintes fontes de emissões podem ser consideradas:

- Metano e o dióxido de carbono, emitidos durante a mineração através da quebra e extração do carvão.
- Emissões Pós-Mineração.
- Oxidação à Baixa Temperatura.
- Combustão Descontrolada.

As emissões a partir do carvão retirado nas minas a céu aberto ocorrem devido ao fato de que suas camadas também possuem gases armazenados, mesmo que em menores quantidades do que os gases armazenados no carvão retirado de minas subterrâneas, porém é necessário que estas emissões sejam consideradas, principalmente em países onde as atividades à céu aberto são amplamente realizadas. Sobretudo, os resíduos de carvão que são rejeitados podem sofrer oxidação à baixa temperatura, e combustão descontrolada.

4.4.2 MINAS A CÉU ABERTO ABANDONADAS DE CARVÃO

Após o fechamento, as minas a céu aberto abandonadas podem, ou retiradas de serviço, continuam a emitir gases através das fugas de gases pela quebra ou danificação do carvão ocorridas durante a mineração.

5 CONSIDERAÇÕES RELEVANTES

Daqui pra frente, o metano (CH₄) será colocado em pauta, uma vez que este gás é a principal emissão fugitiva a partir das atividades relacionadas ao carvão. O dióxido de carbono (CO₂) também será abordado, porém em menor escala (IPCC, 2006).

- Minas Subterrâneas: Emissões fugitivas a partir de minas subterrâneas surgem pela ventilação e pelos sistemas de degaseificação da mina. Estas emissões geralmente são emitidas por um baixo número de fontes centralizadas e pontuais.
- Minas A Céu Aberto: Para as minas a céu aberto, as emissões de gases de efeito estufa são dispersadas pelas seções da mina, e é melhor considerar fontes de determinadas áreas. As emissões consideradas devem ser aquelas referentes aos processos de quebra, oxidação à baixa temperatura de resíduos de carvão e à combustão descontrolada. Métodos de medição de emissões para oxidação à baixa temperatura, e combustão descontrolada ainda estão sendo desenvolvidos, logo, estimativas referentes a essas emissões não estão sendo consideradas neste trabalho.
- Minas Abandonadas: Minas subterrâneas abandonadas apresentam dificuldades em estimar suas emissões, porém metodologias são apresentadas neste trabalho. Para as minas a céu aberto abandonadas ou retiradas de serviço não existem metodologias, logo, não são consideradas neste trabalho.
- Recuperação de Metano e Utilização: Metano recuperado por meio de drenagem, ventilação, e de minas abandonadas podem ser mitigadas de duas formas: Utilização direta como gás natural, ou por queima para que o CO₂ seja produzido, gás que tem um potencial menor de aquecimento estufa que o CH₄.
- Tiers: O uso dos níveis adequados, chamados “*Tiers*”, para desenvolver estimativas de emissões depende da qualidade dos dados disponíveis. Se os dados disponíveis são limitados, então o “*Tier 1*” é o nível mais adequado. A abordagem “*Tier 1*” requer que os países escolham uma gama média global dos fatores de emissão e uma gama média de dados específicos para determinado país para poder realizar os cálculos necessários. O “*Tier 1*” é o que possui o maior nível de incerteza. Para o “*Tier 2*” é necessário que haja fatores de emissão nacionais ou regionais para se conseguir atingir o nível adequado de resultados. Normalmente, estes valores são desenvolvidos por cada país. O “*Tier 3*” utiliza medições diretas em um local de minas específico, e se for devidamente aplicado, é o que tem menor nível de incertezas.

6 CÁLCULO DE EMISSÕES DE MINAS SUBTERRÂNEAS DE CARVÃO

De acordo com o *IPCC, 2006*, a equação geral para as estimativas por meio dos “*Tiers 1 e 2*”, baseados em dados de emissões para mineração de carvão e pós-mineração, é mostrada pela equação 6.1 abaixo:

Equação 6.1
Estimativa de emissões a partir de minas subterrâneas pelos “*Tiers 1 e 2*” sem considerar a utilização ou queima do metano:

Emissões de GEE = Produção de Carvão * Fator de Emissão * Fator de Conversão

O fator de emissão utilizado depende dos dados utilizados. Para os “*Tiers 1 e 2*” o fator de emissão para as emissões a céu aberto, subterrâneas e de pós-mineração tem como unidade o “*m³/tonelada de carvão produzido*”.

Equação 6.2
Estimativa de emissões a partir de minas subterrâneas pelos “*Tiers 1 e 2*” com a utilização ou queima do metano:

Emissões de CH₄ = Emissões da Mineração + Emissões da Pós-Mineração – Utilização para Geração de Energia ou Queima do Metano

A equação 6.2 utiliza os “*Tiers 1 e 2*” devido ao uso de dados em nível nacional ou regional. Os fatores de emissão incluem todo o metano que seria liberado a partir das atividades de mineração, logo, se faz necessário que toda recuperação ou queima de metano seja subtraída das emissões totais, para o “*Tier 3*”, como os cálculos são específicos e mais precisos não é necessário que se subtraia a recuperação, uma vez que ela já não é contabilizada nas estimativas totais de emissões.

6.1 ESCOLHA DO MÉTODO

6.1.1 MINERAÇÃO

A figura 6.1 mostra a árvore de decisões para as atividades subterrâneas de mineração de carvão. Para países que tenham dados específicos de determinada mina é de boa prática utilizar o “*Tier 3*”. Desta forma, se medições de ventilação do ar subterrâneo e sistemas de desgaseificação forem levadas em consideração no cálculo, então a estimativa resultante tende a ser mais precisa do que se usar os fatores de emissões.

O “*Tier 2*” é apropriado quando dados de apenas algumas minas em específico do país estão disponíveis. Por exemplo, nos Estados Unidos, o método pode ser aplicado a minas de carvão com emissões médias entre 2800 e 14000 m³ por dia. Fatores de emissão derivados de minas com métodos “*Tier 3*” podem ser usados para minas que possuem as mesmas propriedades de minas “*Tier 3*” (IPCC, 2006).

6.1.2 PÓS-MINERAÇÃO

Medição direta de todas as emissões relacionadas com as atividades de pós-mineração não é factível, logo, um fator de emissão aproximado deve ser usado. Os “*Tiers 1 e 2*” representam boa prática para esta fonte, dada a dificuldade de se conseguir melhores dados.

6.1.3 OXIDAÇÃO À BAIXA TEMPERATURA

Oxidação do carvão, quando exposto à atmosfera pela mineração, libera dióxido de carbono (CO₂). Esta fonte é considerada desprezível quando comparada com as emissões totais de minas de carvão subterrâneas.

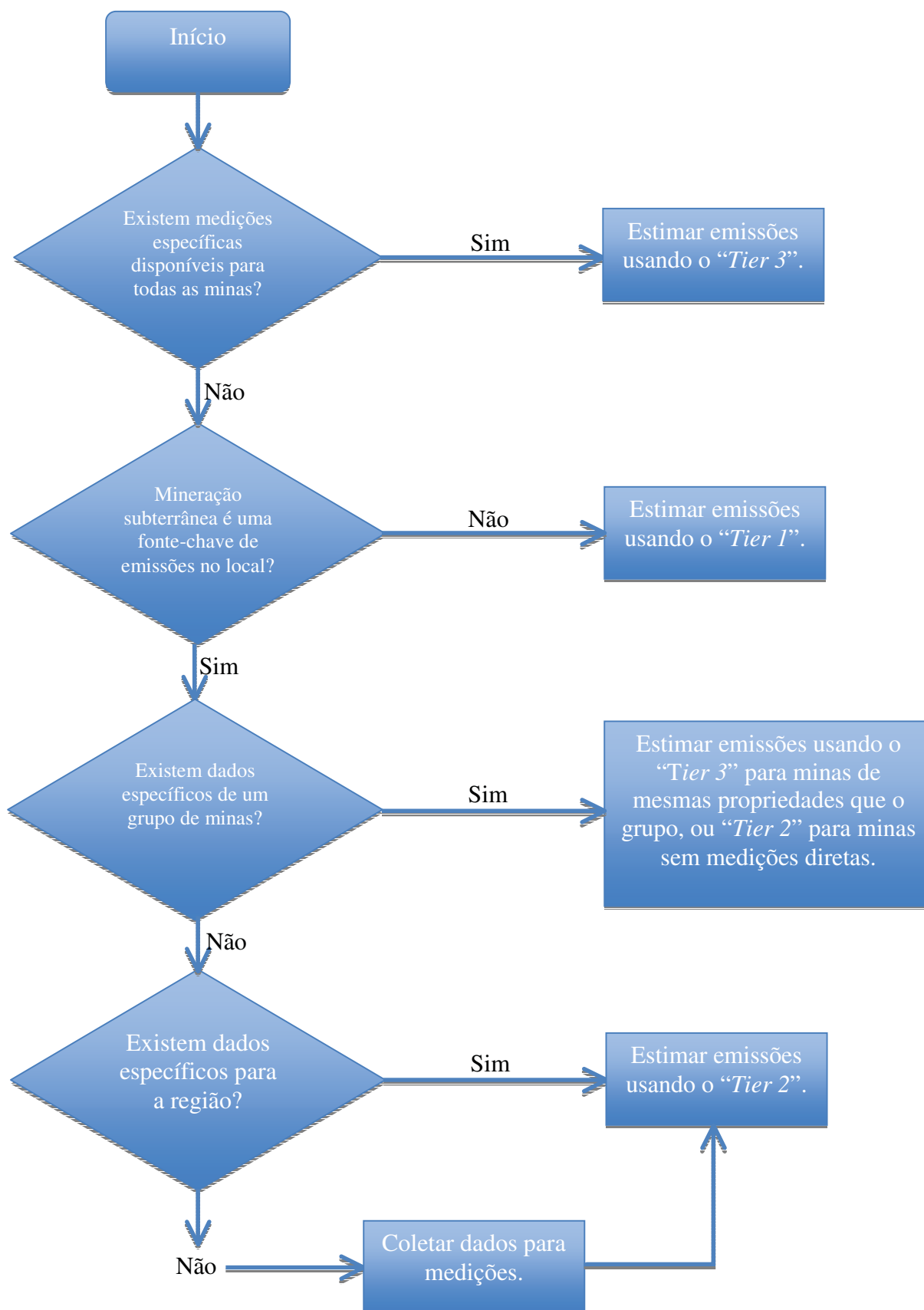


Figura 6.1: Árvore de Decisões dos Métodos “Tier” para Minas Subterrâneas de Carvão (IPCC, 2006).

6.2 ESCOLHA DOS FATORES DE EMISSÕES PARA MINAS SUBTERRÂNEAS

6.2.1 MINERAÇÃO

Fatores de emissão para os “*Tiers 1 e 2*” de minas subterrâneas estão demonstrados a seguir. Os fatores foram retirados do “*Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (BCTSRE, 1992; Bibler et al, 1991; Lama, 1992; Pilcher et al, 1991; USEPA, 1993a,b and Zimmermeyer, 1989)*”.

Equação 6.3

Tier 1: Método Global Médio – Mineração Subterrânea – Sem ajuste para qualquer utilização ou queima de Metano:

$$\text{Emissões de CH}_4 = \text{Fator de Emissão de CH}_4 * \text{Produção de Carvão Subterrâneo} * \text{Fator de Conversão}$$

Onde as unidades são:

Emissões de Metano (Gg/ano);

Fator de Emissão de Metano (m³/Tonelada de Carvão produzido);

Produção de Carvão Subterrâneo (Toneladas/ano).

Fator de Emissão:

Baixo Fator de Emissão de Metano = 10 m³/Tonelada de Carvão Produzido);

Médio Fator de Emissão de Metano = 18 m³/Tonelada de Carvão Produzido);

Alto Fator de Emissão de Metano = 25 m³/Tonelada de Carvão Produzido).

Fator de Conversão:

É a massa específica de CH₄ e converte o volume em massa de CH₄. É tomada a 20°C e 1 atmosfera de pressão, e apresenta um valor de 0,67 * 10⁻⁶ Gg/m³.

Países que utilizam o “*Tier 1*” devem considerar as variações nacionais, como a profundidade em que o carvão é retirado. Como as emissões são maiores em maiores profundidades o baixo fator de emissão deve ser tomado para profundidades menores que 200 metros e o alto fator de emissão deve ser tomado para profundidades maiores que 400 metros, para profundidades medianas o valor médio de fator de emissão é o mais apropriado.

Para países que utilizam o “*Tier 2*”, as emissões específicas da região devem ser obtidas a partir de uma amostra da ventilação de ar da mina por exemplo. (*Good Practice Guidance, 2000*).

6.2.2 PÓS-MINERAÇÃO

Equação 6.4

***Tier 1*: Método Global Médio – Emissões Pós-Mineração – Minas Subterrâneas:**

$$\text{Emissões de CH}_4 = \text{Fator de Emissão de CH}_4 * \text{Produção de Carvão Subterrâneo} * \text{Fator de Conversão}$$

Para o “*Tier 1*” os fatores de emissão da pós-mineração estão mostradas abaixo juntamente com o método de estimativa.

Onde as unidades são:

Emissões de Metano (Gg/ano);

Fator de Emissão de Metano ($\text{m}^3/\text{Tonelada}$ de Carvão produzido);

Produção de Carvão Subterrâneo (Toneladas/ano).

Fator de Emissão:

Baixo Fator de Emissão de Metano = $0,9 \text{ m}^3/\text{Tonelada}$ de Carvão Produzido);

Médio Fator de Emissão de Metano = $2,5 \text{ m}^3/\text{Tonelada}$ de Carvão Produzido);

Alto Fator de Emissão de Metano = $4,0 \text{ m}^3/\text{Tonelada}$ de Carvão Produzido).

Fator de Conversão:

É a massa específica de CH_4 e converte o volume em massa de CH_4 . É tomada a 20°C e 1 atmosfera de pressão, e apresenta um valor de $0,67 * 10^{-6} \text{ Gg/m}^3$.

O método “*Tier 2*” para estimar as emissões pós-mineração leva em consideração o gás contido no local. Medições indicam que quando o carvão chega a superfície depois de passar pelo processo de desgaseificação ainda apresenta em torno de 25 a 40% do gás contido no carvão de quando foi retirado de seu equilíbrio (*Willians and Saghafi, 1993*). Para minas que adotam a pré-drenagem, o montante de gás no carvão é menor que o valor do montante do carvão retirado pelo processo normal de mineração, porém, em um valor desconhecido. Para minas sem a pré-drenagem é possível adotar um valor de 30% do gás contido no carvão quando retirado de seu equilíbrio, com a pré-drenagem, um fator de emissão de 10% do gás contido no carvão é sugerido.

O método “*Tier 3*” não é adequado para as operações de pós-mineração (*IPCC, 2006*).

6.2.3 EMISSÕES DRENADAS DE METANO

O metano drenado das atividades de mineração podem ser diretamente lançados para a atmosfera, recuperado e utilizado ou convertido em CO₂ através da queima para nenhuma utilização, de acordo com o *IPCC, 2006*.

Em geral:

- O método “*Tier 1*” representa um agregado de estimativas de emissão utilizando os fatores de emissão. Normalmente, emissões associadas com a drenagem de metano não são aplicadas para o caso do “*Tier 1*”, sendo assim, necessárias as aplicações dos “*Tiers 2 ou 3*”.
- Quando o metano é drenado das camadas de carvão e em sequência queimado ou utilizado como combustível, se faz necessário que esta emissão seja desconsiderada das emissões totais nos cálculos de estimativas dos “*Tiers 1 e 2*”.
- Para o “*Tier 3*” o metano recuperado por sistemas de desgaseificação e liberados para a atmosfera devem ser contabilizados como emissões provenientes dos sistemas de ventilação da mina

Quando o metano recuperado é utilizado como fonte de energia:

- Qualquer emissão resultante do processo de recuperação de metano a partir do carvão para uso como fonte de energia deve ser contabilizado no seu uso final.
- Quando o metano recuperado das minas de carvão for direcionado para linhas de distribuição de gás natural, as emissões relativas a esta quantidade de gás devem ser contabilizadas nas emissões provenientes do gás natural, e não das atividades de mineração.

Quando o metano recuperado é queimado:

- Quando o metano for simplesmente queimado para nenhum uso, as emissões de dióxido de carbono (CO₂) provenientes desta queima devem ser contabilizadas como emissões provenientes das atividades de mineração. Montantes de óxido nitroso e outros componentes orgânicos não-voláteis liberados durante o processo de combustão são relativamente pequenos e não são considerados.

Equação 6.5
Emissões de CO₂ e de CH₄ provenientes da Queima ou da Oxidação Catalítica de Metano Drenado:

$$(a) \text{ Emissões de CO}_2 = 0,98 * \text{Volume de Metano Queimado} * \text{Fator de Conversão} * \text{Fator Estequiométrico de Massa}$$

$$(b) \text{ Emissões de Metano Não-Queimado} = 0,02 * \text{Volume de Metano Queimado} * \text{Fator de Conversão}$$

Onde as unidades são:

Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) a partir da queima de Metano (Gg/ano);

Volume de Metano Queimado (m³/ano);

Fator Estequiométrico de Massa é o coeficiente de massa do Dióxido de Carbono produzido pela queima total de uma unidade de massa do Metano e apresenta um valor de $28/16 = 2,75$.

Fator de Conversão:

É a massa específica de CH₄ e converte o volume em massa de CH₄. É tomada a 20°C e 1 atmosfera de pressão, e apresenta um valor de $0,67 * 10^{-6} \text{ Gg/m}^3$.

6.3 ATIVIDADES RELACIONADAS ÀS MINAS SUBTERRÂNEAS DE CARVÃO

A estimativa de emissões a partir da mineração subterrânea deve incluir:

- Drenagem de gás produzido pelos sistemas de desgaseificação.
- Emissões provenientes dos sistemas de ventilação de ar da mina.
- Emissões Pós-Mineração.
- Estimativas de volume de Metano recuperado e utilizado ou queimado.
- Minas Subterrâneas Abandonadas.

6.4 INCERTEZAS RELACIONADAS ÀS ATIVIDADES

6.4.1 INCERTEZAS RELACIONADAS AOS FATORES DE EMISSÃO DOS MÉTODOS “TIERS 1 E 2”

As principais fontes de incertezas para o “Tier 1” são, segundo o IPCC, 2006.

- A aplicação de fatores de emissão globais em países individuais.
- Incertezas inerentes aos próprios fatores de emissão.

A incerteza devido à primeira questão colocada é bem difícil de ser mensurada, porém pode ser bastante significativa. As incertezas inerentes aos fatores de emissão também é difícil de ser quantificado devido à variabilidade natural do carvão em diversas áreas.

Para o “Tier 2”, os mesmos comentários acima se aplicam, porém, o fato de se ter uma coleta de dados regionais vai reduzir as incertezas inerentes aos fatores de emissão se for comparado com o “Tier 1”.

A tabela 6.1 abaixo apresenta as incertezas associadas aos “Tiers 1 e 2” para os fatores de emissão a partir de Minas Subterrâneas de Carvão.

Tabela 6.1		
Estimativas de Incertezas nos “Tiers 1 e 2” para a Mineração Subterrânea		
Método	Mineração	Pós-Mineração
<i>Tier 2</i>	± 50-75%	± 50%
<i>Tier 1</i>	± 200%	± 300%

Fonte: IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (2000).

6.4.2 INCERTEZAS RELACIONADAS AOS FATORES DE EMISSÃO DO MÉTODO “TIER 3”

As emissões de metano de minas subterrâneas possuem uma variabilidade natural devido às variações nas taxas de mineração e de drenagem do gás. Por exemplo, o gás liberado grandes minas podem variar por um fator de 1 ou 2 vezes durante a vida da mina. Medições constantes das emissões podem contribuir com a redução dessa variabilidade e com os erros intrínsecos associados às técnicas de medição. Como as emissões variam dentro do período de um ano, é uma boa prática coletar dados com frequência, em torno de uma vez a cada duas semanas, ou uma vez ao mês. Medições diárias iriam garantir uma estimativa de alta qualidade. Monitoramento contínuo representa o maior estágio de controle das emissões, e, em algumas minas modernas, isso tem sido implementado, de acordo com o *IPCC, 2006*.

Medições pontuais de concentração de metano no ar de ventilação possuem uma precisão de $\pm 20\%$ dependendo do equipamento utilizado. Dados coletados em curtos períodos de tempo ou repetidas medições diminuiriam, significativamente, essa incerteza para valores próximos de $\pm 5\%$ para monitoramento contínuo e para $\pm 10-15\%$ para monitoramentos de a cada duas semanas. Os fluxos de ar de ventilação são, geralmente, precisos ($\pm 2\%$). Quando combinadas as imprecisões devido às medições e cálculos instantâneos, as emissões podem sofrer, por baixo, com uma variação de 10%, ou, por cima, com uma variação de 30% (*Mutmansky and Wang, 2000*). As incertezas para as estimativas de minas subterrâneas estão descritas abaixo na tabela 6.2:

Fonte	Detalhes	Incerteza	Referência
Gás Drenado	Medições Pontuais de CH ₄ no Gás Drenado	$\pm 2\%$	Parecer de Peritos (<i>GPG, 2000</i>)
	Fluxos de Desgaseificação	$\pm 5\%$	Parecer de Peritos (<i>GPG, 2000</i>)
Gás Ventilado	Medições Diárias ou Contínuas	$\pm 5\%$	Parecer de Peritos (<i>GPG, 2000</i>)
	Medições Pontuais a cada 2 Semanas	$\pm 10\%$	(<i>Mutmansky and Wang, 2000</i>)
	Medições Pontuais a cada 3 Meses	$\pm 30\%$	(<i>Mutmansky and Wang, 2000</i>)

Fonte: *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (2000)*.

Produção de Carvão: Quando um país tem os dados de produção de carvão a incerteza apresentada é em torno de 1-2%, se esses dados não estiverem disponíveis, então a incerteza sobe para $\pm 5\%$ quando a venda de carvão é utilizada como parâmetro. Os dados podem sofrer variação, dependendo da mistura que o carvão apresenta em sua composição, de 5-10%. A variabilidade dos cálculos estatísticos também pode influenciar em $\pm 10\%$.

7 MINERAÇÃO A CÉU ABERTO DE CARVÃO

A equação fundamental a ser usada para se estimar as emissões provenientes da mineração a céu aberto de carvão é apresentada abaixo:

Equação 7.1
Equação geral para Estimativa de Emissões Fugitivas a partir da Mineração A Céu Aberto de Carvão:

$$\text{Emissões Totais de Metano (CH}_4\text{)} = \text{Emissões de Mineração A Céu Aberto de Metano (CH}_4\text{)} + \text{Emissões Pós-Mineração de Metano (CH}_4\text{)}$$

7.1 ESCOLHA DO MÉTODO

Ainda não é viável coletar dados específicos de cada mina pelo método “Tier 3” para a mineração a céu aberto. A alternativa é coletar dados de produção a céu aberto e aplicar os fatores de emissão. Dadas as incertezas dos fatores de emissão do local, escolhendo fatores de emissão, providas pelo *IPCC Guidelines, 2006*, podem resultar em boas estimativas para o método “Tier 1”. Medições diretas de emissões pós-mineração são inviáveis, logo, um fator de emissão aproximado é recomendado. “Tiers 1 e 2” devem ser aplicados para esta fonte de emissões, dadas as dificuldades de se conseguir melhores dados.

Em minas a céu aberto, é esperado que emissões de CO₂ ocorram a partir da oxidação do carvão em contato com a atmosfera, porém, são consideradas insignificantes, principalmente quando comparadas aos resíduos de carvão. Para diminuir tais emissões é necessário que os resíduos fiquem em local fechado resguardado de sol a fim de se evitar oxidação e uma possível combustão descontrolada dos resíduos, reduzindo, assim, as emissões de CO₂. Combustão descontrolada é comum em pilhas de carvão, porém, dada sua dificuldade de cálculos precisos referentes a estas emissões elas não são consideradas aqui.

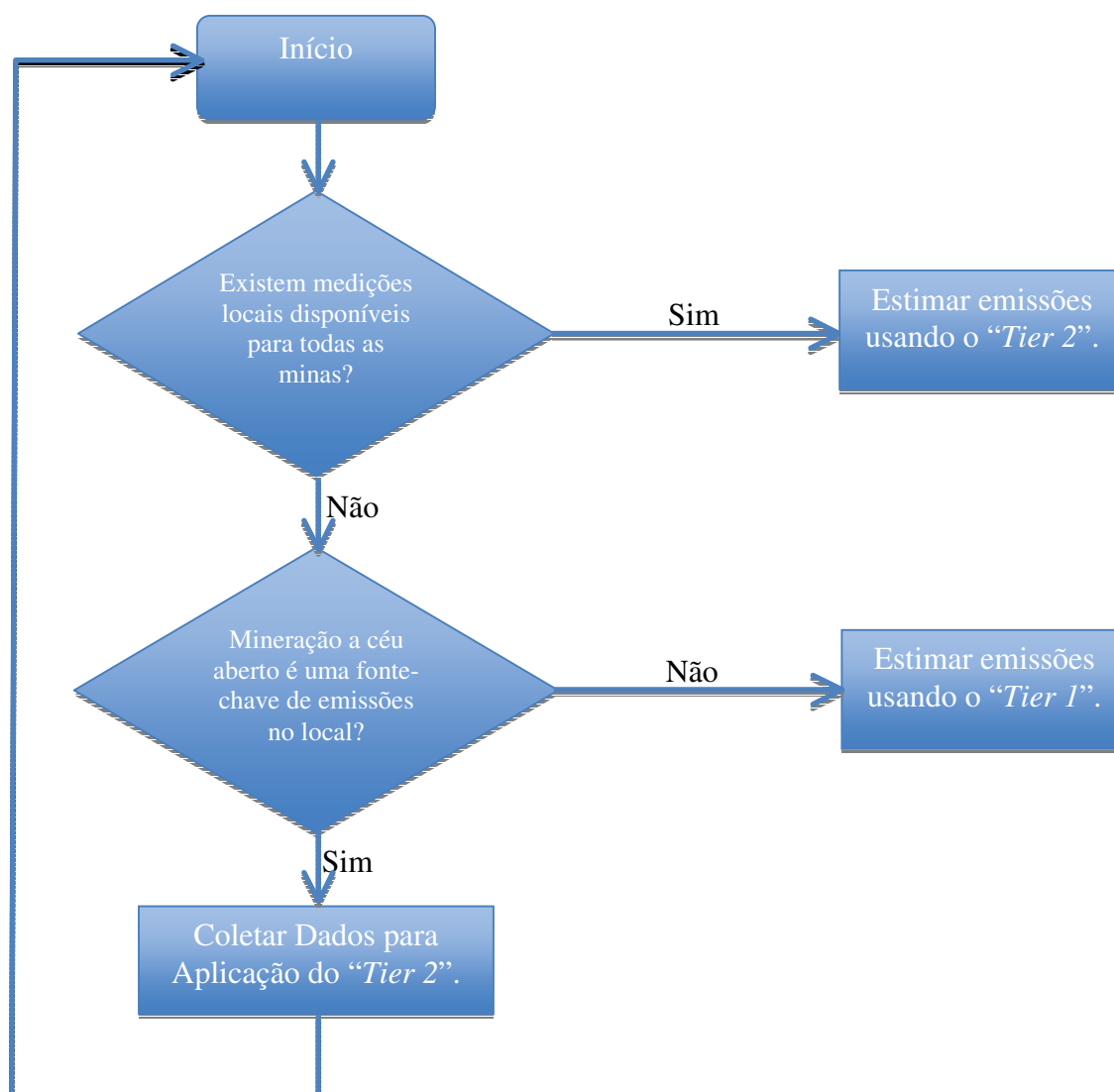


Figura 7.1: Árvore de Decisões dos Métodos “Tier” para Minas A Céu Aberto de Carvão (IPCC, 2006).

7.2 ESCOLHA DOS FATORES DE EMISSÕES PARA MINERAÇÃO

Embora a quantidade de medições de emissões de metano relacionadas às atividades de mineração a céu aberto tenha aumentado, estas são difíceis de se realizar e não existem métodos confiáveis de aplicação. Dados locais de mineração a céu aberto são escassos, e difíceis de se obter.

O método “*Tier 1*”, juntamente com os fatores de emissão previamente calculados estão demonstrados a seguir:

Equação 7.2
“*Tier 1*”: Método Global Médio Atividades de Mineração – Minas A Céu Aberto:

$$\text{Emissões Metano (CH}_4\text{)} = \text{Fator de Emissão de Metano} * \text{Produção de Carvão A Céu Aberto} * \text{Fator de Conversão}$$

Onde as unidades são:

Emissões de Metano (Gg/ano);

Fator de Emissão de Metano (m^3 /Tonelada de Carvão produzido);

Produção de Carvão A Céu Aberto (Toneladas/ano).

Fator de Emissão:

Baixo Fator de Emissão de Metano = $0,3 \text{ m}^3$ /Tonelada de Carvão Produzido);

Médio Fator de Emissão de Metano = $1,2 \text{ m}^3$ /Tonelada de Carvão Produzido);

Alto Fator de Emissão de Metano = $2,0 \text{ m}^3$ /Tonelada de Carvão Produzido).

Fator de Conversão:

É a massa específica de CH_4 e converte o volume em massa de CH_4 . É tomada a 20°C e 1 atmosfera de pressão, e apresenta um valor de $0,67 * 10^{-6} \text{ Gg/m}^3$.

O método “*Tier 2*” utiliza a mesma equação que a utilizada para o “*Tier 1*” porém, com dados mais específicos da região de mineração.

7.3 ESCOLHA DOS FATORES DE EMISSÕES PARA PÓS-MINERAÇÃO

Equação 7.3

“Tier 1”: Método Global Médio – Atividades Pós-Mineração - Minas A Céu Aberto:

$$\text{Emissões Metano (CH}_4\text{)} = \text{Fator de Emissão de Metano} * \text{Produção de Carvão A Céu Aberto} * \text{Fator de Conversão}$$

Onde as unidades são:

Emissões de Metano (Gg/ano);

Fator de Emissão de Metano (m³/Tonelada de Carvão produzido);

Produção de Carvão A Céu Aberto (Toneladas/ano).

Fator de Emissão:

Baixo Fator de Emissão de Metano = 0,0 m³/Tonelada de Carvão Produzido);

Médio Fator de Emissão de Metano = 0,1 m³/Tonelada de Carvão Produzido);

Alto Fator de Emissão de Metano = 0,2 m³/Tonelada de Carvão Produzido).

7.4 ATIVIDADES RELACIONADAS ÀS MINAS A CÉU ABERTO DE CARVÃO

A estimativa de emissões a partir da mineração a céu aberto deve incluir:

- Emissões provenientes da quebra do carvão.
- Emissões Pós-Mineração.
- Resíduos de Carvão que sofrem combustão descontrolada.

7.5 INCERTEZAS RELACIONADAS AOS FATORES DE EMISSÃO

A variabilidade dos fatores de emissão para minas a céu aberto é maior do que a de subterrâneas, devido à variação ao longo da mina causada pelas propriedades geológicas.

Método	A Céu Aberto	Pós-Mineração
<i>Tier 2</i>	± 200%	± 50%
<i>Tier 1</i>	± 300%	± 300%

Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

8 MINAS SUBTERRÂNEAS ABANDONADAS DE CARVÃO

Minas subterrâneas de carvão fechadas, ou abandonadas, continuam sendo uma importante fonte de emissões de gases de efeito estufa.

Os métodos “*Tier 1 e 2*” descritos abaixo em uma estimativa originalmente desenvolvida pela U.S. EPA (*Franklin et al, 2004*), e foi adaptada para ser globalmente aplicada.

O método “*Tier 3*” também está descrito abaixo, foi adaptado a partir das metodologias dos EUA (*Franklin et al, 2004; U.S. EPA, 2004*).

8.1 ESCOLHA DO MÉTODO

A equação fundamental para a estimativa de emissões a partir de minas subterrâneas abandonadas de carvão, de acordo com o *IPCC, 2006*:

Equação 8.1
Equação Geral para Estimativas de Emissões Fugitivas a partir de Minas Subterrâneas Abandonadas de Carvão:

Emissões Metano (CH₄) = Emissões de Minas Abandonadas (CH₄) - Metano Utilizado para Geração de Energia, entre outros.

Para os “*Tiers 1 e 2*”:

Os dois parâmetros-chave utilizados para estimativas de emissões de minas abandonadas é o tempo que a mina está desativada, e dados de intensidade de emissões das minas já fechadas, ou abandonadas.

Para o método “*Tier 1*”, a equação é mostrada abaixo:

Equação 8.2
Método “*Tier 1*” para Minas Subterrâneas Abandonadas:

$$\text{Emissões Metano (CH}_4\text{)} = \text{Número de Minas Abandonadas de Carvão Não-Inundadas} * \\ \text{Fração de Minas de Carvão Emissoras} * \text{Fator de Emissão} * \text{Fator de Conversão}$$

Onde as unidades são:

Emissões de Metano (Gg/ano);

Fator de Emissão de Metano (m³/ano).

O fator de emissão aqui apresentado possui unidade diferente daquela mostrada para as emissões provenientes das atividades de mineração subterrânea, a céu aberto e pós-mineração, isto devido aos diferentes métodos aplicados para os cálculos de diferentes fontes de emissão.

Fator de Conversão:

É a massa específica de CH₄ e converte o volume em massa de CH₄. É tomada a 20°C e 1 atmosfera de pressão, e apresenta um valor de $0,67 * 10^{-6}$ Gg/m³.

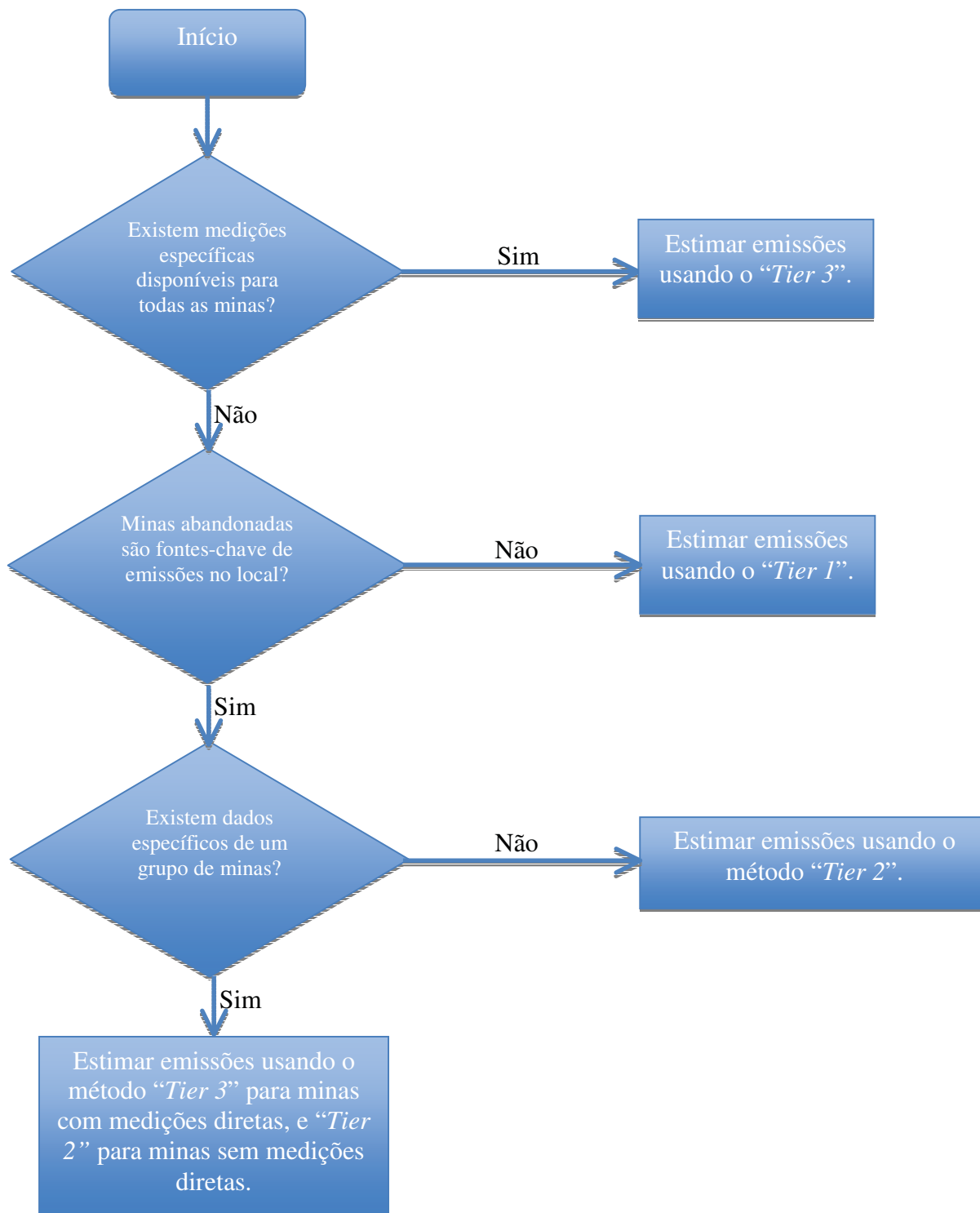


Figura 8.1: Árvore de Decisões dos Métodos "Tier" para Minas Subterrâneas Abandonadas de Carvão (IPCC, 2006).

Para o “Tier 3”:

A estimativa “Tier 3” (Franklin et al, 2004; Kershaw, 2005) requiere informações específicas de cada mina avaliada, como emissões provenientes de ventilação quando a mina estava ativa, características e propriedades do carvão minado, tamanho e profundidade da mina. Cada país deve gerar os próprios perfis de emissões provenientes de suas minas fechadas, ou abandonadas.

No geral, o processo de desenvolvimento de um inventário nacional de emissões de metano a partir de minas abandonadas para efetivação de cálculos pelo método “Tier 3” consiste nos seguintes passos:

1. Criação de um banco de dados de minas de carvão abandonadas emissoras;
2. Identificação de fatores-chave que afetam emissões de metano;
3. Desenvolvimento de curvas e taxas de emissões de minas, ou regiões específicas;
4. Validação de modelos matemáticos por meio de programas de medições de campo;
5. Cálculo de inventários de emissões nacionais todos os anos;
6. Ajuste nas reduções de emissões devido à recuperação e utilização do metano gerado;
7. Determinação das emissões totais de metano.

8.2 ESCOLHA DOS FATORES DE EMISSÕES PARA MINAS SUBTERRÂNEAS ABANDONADAS

8.2.1 “TIER 1”: MÉTODO GLOBAL MÉDIO

O método “Tier 1” para determinação de emissões a partir de minas subterrâneas abandonadas está descrita abaixo, e é baseada em métodos desenvolvidos pela USEPA (Franklin et al, 2004). Nele está incorporado um fator para contabilizar a fração das minas que são consideradas emissoras. Na metodologia norte-americana, o termo mina emissora se refere a minas que, quando ativas, tiveram uma média anual de emissões pela ventilação entre 2800 e 14000 m³/dia, que é igual a 0,7 a 3,4 Gg/ano.

1. Determinar o intervalo de tempo em que a mina foi desativada:
 - a) 1901 – 1925
 - b) 1926 – 1950
 - c) 1951 – 1975
 - d) 1976 – 2000
 - e) 2001 – Atualidade
2. Intervalos múltiplos podem ser utilizados quando apropriado, é recomendado que o tamanho do intervalo de anos para os dados disponíveis seja cada vez menor, a fim de se obter uma estimativa mais próxima do real.
3. Estimar a quantidade de minas que permaneceram não-inundadas desde 1901, se não existe tal informação, é uma boa prática considerar 100% das minas como não-inundadas para se ter uma informação mais confiável.
4. Determinar a porcentagem de minas de carvão que são consideradas emissoras quando estas foram fechadas, ou abandonadas. Quando for necessário se estimar essa porcentagem, um determinado país deverá levar em consideração todo o histórico de emissões das minas existentes na região.
5. Para o inventário do ano de interesse, será necessário selecionar um valor apropriado de fator de emissão a partir da tabela 6.5 abaixo.
6. Calcular para cada período as emissões de metano.
7. Somar as emissões de cada período para, finalmente, se chegar no total de emissões para o ano de inventário.

Tabela 8.1		
“Tier I” – Minas Subterrâneas Abandonadas – Valores Padrão – Porcentagem de Minas Consideradas Emissoras		
Período	Baixo	Alto
1900 – 1925	0%	10%
1926 – 1950	3%	50%
1950 – 1976	5%	75%
1976 – 2000	8%	100%
2001 - Atualidade	9%	100%

Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

Ano de Inventário	Período em que a Mina foi Fechada				
	1901 - 1925	1926 - 1950	1951 - 1975	1976 - 2000	2001 - Atualidade
1990	0.281	0.343	0.478	1.561	NA
1991	0.279	0.340	0.469	1.334	NA
1992	0.277	0.336	0.461	1.183	NA
1993	0.275	0.333	0.453	1.072	NA
1994	0.273	0.330	0.446	0.988	NA
1995	0.272	0.327	0.439	0.921	NA
1996	0.270	0.324	0.432	0.865	NA
1997	0.268	0.322	0.425	0.818	NA
1998	0.267	0.319	0.419	0.778	NA
1999	0.265	0.316	0.413	0.743	NA
2000	0.264	0.314	0.408	0.713	NA
2001	0.262	0.311	0.402	0.686	5.735
2002	0.261	0.308	0.397	0.661	2.397
2003	0.259	0.306	0.392	0.639	1.762
2004	0.258	0.304	0.387	0.620	1.454
2005	0.256	0.301	0.382	0.601	1.265
2006	0.255	0.299	0.378	0.585	1.133
2007	0.253	0.297	0.373	0.569	1.035
2008	0.252	0.295	0.369	0.555	0.959
2009	0.251	0.293	0.365	0.542	0.896
2010	0.249	0.290	0.361	0.529	0.845
2011	0.248	0.288	0.357	0.518	0.801
2012	0.247	0.286	0.353	0.507	0.763
2013	0.246	0.284	0.350	0.496	0.730
2014	0.244	0.283	0.346	0.487	0.701
2015	0.243	0.281	0.343	0.478	0.675
2016	0.242	0.279	2016	0.242	0.279

Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

8.2.2 “TIER 2”: MÉTODO REGIONAL MÉDIO

O método “Tier 2” para desenvolvimento de inventário de emissões de metano segue o mesmo processo que o método “Tier 1”, porém os dados incorporados são locais e regionais. A metodologia apresentada deverá ser utilizada com dados locais e regionais sempre que for possível (IPCC, 2006).

A equação é apresentada abaixo:

Equação 8.3
Método “Tier 2” para Minas Subterrâneas Abandonadas Sem Recuperação e Utilização do Metano Emitido:

$$\text{Emissões Metano (CH}_4\text{)} = \text{Número de Minas Abandonadas de Carvão Não-Inundadas} * \text{Fração de Minas Emissoras de Carvão} * \text{Taxa Média de Emissões} * \text{Fator de Emissão} * \text{Fator de Conversão}$$

Onde as unidades são:

Emissões de Metano (Gg/ano);

Taxa Média de Emissões (m³/ano);

Fator de Emissões (Adimensional).

Fator de Conversão:

É a massa específica de CH₄ e converte o volume em massa de CH₄. É tomada a 20°C e 1 atmosfera de pressão, e apresenta um valor de $0,67 * 10^{-6}$ Gg/m³.

A redução de emissões de metano devido à projetos de recuperação que utilizam ou queimam as emissões deve ser subtraída da estimativa total.

As etapas básicas para o cálculo de emissões por meio do método “Tier 2” para minas subterrâneas abandonadas estão descritas a seguir, de acordo com o *IPCC, 2006*.

1. Determinar o período aproximado de tempo em que significantes minas emissoras foram fechadas ou abandonadas. É recomendado, assim como para o “Tier 1” que dados de pequenos períodos estejam disponíveis. Idealmente, para períodos mais recentes, o intervalo de tempo deverá ser menor.
2. Estimar a quantidade de minas que permaneceram não-inundadas desde 1901, se não existe tal informação, é uma boa prática considerar 100% das minas como não-inundadas para se ter uma informação mais confiável.
3. Determinar a porcentagem de minas de carvão que são consideradas emissoras quando estas foram fechadas, ou abandonadas. Quando for necessário se estimar essa porcentagem, um determinado país deverá levar em consideração todo o histórico de emissões das minas existentes na região.

4. Para cada intervalo de tempo, se faz necessário que uma taxa média de emissões seja determinada, se não existirem dados locais ou regionais, baixas ou altas estimativas podem ser selecionadas a partir da tabela 6.6 abaixo.
5. Calcular um fator de emissões apropriado utilizando a equação 6.12 demonstrada abaixo, baseada na diferença de tempo entre o ano em que a mina foi fechada, e o ano de inventário de emissões.
6. Calcular as emissões para cada intervalo de tempo, de acordo com a equação 6.11.
7. Somar as emissões para cada intervalo de tempo para se chegar no resultante de emissões a partir de minas abandonadas ou fechadas.

Tabela 8.3	
“Tier 2” – Minas Subterrâneas Abandonadas de Carvão – Valores Padrão para Emissões Ativas	
Parâmetro	Emissões, em Milhões de m³/ano
Baixo	1,3
Alto	38,8

Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

Equação 8.4	
“Tier 2” – Fator de Emissão para Minas Subterrâneas Abandonadas:	
$\text{Fator de Emissão} = (1 + aT)^b$	

Onde:

a e b são constantes determinantes da curva. Valores locais ou regionais devem ser utilizados sempre que possível. Valores padrão estão descritos na tabela 6.7 abaixo.

T = Tempo em anos desde que a mina foi abandonada até o ano de inventário.

Tabela 8.4		
Coefficientes para o “Tier 2” – Minas Subterrâneas Abandonadas de Carvão		
Tipo de Carvão	a	b
Antracite	1,72	-0,58
Betuminoso	3,72	-0,42
Sub-Betuminoso	0,27	-1,00

Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

8.2.3 “TIER 3”: MÉTODO ESPECÍFICO

O “Tier 3” permite medições diretas de emissões, quando disponíveis, e podem ser usadas em vez de apenas cálculos e estimativas. Cada país deve desenvolver seus próprios parâmetros e características baseando-se nas medições, e propriedades do carvão contido em

Equação 8.5

“Tier 3” – Cálculos de Emissão para Minas Subterrâneas Abandonadas:

$$\text{Emissões de Metano} = (\text{Taxa de Emissão Medida} * \text{Fator de Emissão} * \text{Fator de Conversão}) \\ - \text{Redução de Emissões a partir da Recuperação e Utilização de Metano}$$

sua região.

Onde as unidades são:

Emissões de Metano (Gg/ano);

Taxa Média de Emissões (m³/ano);

Fator de Emissões (Adimensional).

Fator de Conversão:

É a massa específica de CH₄ e converte o volume em massa de CH₄. É tomada a 20°C e 1 atmosfera de pressão, e apresenta um valor de $0,67 * 10^{-6}$ Gg/m³.

As etapas básicas para o cálculo de emissões por meio do método “Tier 3” para minas subterrâneas abandonadas estão descritas a seguir:

1. Determinar um banco de dados de características e propriedades das minas fechadas, e suas datas aproximadas de fechamento consistentes para um inventário nacional.
2. Estimar emissões baseadas em medições e modelos de emissões. Taxa médias de emissão à época do seu fechamento podem ser consideradas, ou reservas estimadas de metano.
3. Se não existem dados de seu fechamento, podem ser utilizados dados de minas ativas, ou recentemente fechadas.
4. Somar as emissões a fim de se desenvolver um inventário anual.

8.4 ATIVIDADES RELACIONADAS ÀS MINAS SUBTERRÂNEAS ABANDONADAS DE CARVÃO

Após o fechamento, emissões a partir de minas abandonadas ainda podem ocorrer das seguintes fontes:

- A mina que ainda permanece não-inundada.
- Vazamentos pelo solo do local da mina.
- Oxidação à Baixa Temperatura.
- Combustão Descontrolada.

8.5 INCERTEZAS RELACIONADAS ÀS EMISSÕES

Para o “*Tier 1*”:

- A Natureza Global dos Fatores de Emissão: O tamanho dessa incerteza grande devido às determinações do tamanho, profundidade, e tipo de carvão.
- Tempo de Fechamento: Emissões de minas abandonadas dependem fortemente do tempo em que elas já estão fechadas, acertando o tempo exato em que as atividades de mineração foram realmente encerradas é imprescindível para chegar a um resultado mais próximo do real.
- Dados: O número de minas emissoras ao longo do tempo e de suas respectivas produções de carvão são fortemente dependentes de sua região. A incerteza será definida pela veracidade do histórico das minas presentes na localidade.

Para o “*Tier 2*”:

- Fatores de Emissão disponíveis para determinada região, ou local: Esta incerteza está associada à variabilidade do gás contido na região, características de adsorção, e a permeabilidade devido ao tipo de carvão ali produzido.
- Número de minas produzindo determinado tipo de Carvão.
- Número de minas fechadas no mesmo período que a mina em questão.
- A porcentagem de minas emissoras ao longo do tempo.

Para o “Tier 3”:

- Taxas de emissões de minas ativas.
- Equação ou modelamento da curva que melhor descreve as características de adsorção, gás contido no local, tamanho da mina e permeabilidade do carvão.
- Status hidrológico da mina (inundada ou não), e condição (ventilada ou selada).

9 VISÃO GERAL DAS EMISSÕES MUNDIAIS DE METANO

As emissões de metano a partir das atividades de mineração de carvão são liberadas ao redor do mundo, e geralmente, os maiores emissores são os países que mais produzem carvão a partir de minas subterrâneas. Atualmente, os maiores produtores de carvão mineral são a China e os Estados Unidos. Outros grandes produtores são Rússia, Austrália, Ucrânia e Índia. Nos últimos 10 anos, as emissões de metano têm sido assunto de grande relevância devido ao poder de efeito estufa do gás, e seu grande potencial como uma fonte de energia limpa. Como resultado, muitos países vêm realizando inventários periódicos para determinar a quantidade das emissões de metano provenientes das atividades de mineração de carvão (*C.Ö. Karacan et al. / International Journal of Coal Geology 86, 2011*).

Países que fazem parte da Convenção das Nações Unidas para a Mudança do Clima (UNFCCC) estão comprometidos à reportar seus respectivos inventários de gases de efeito estufa para o secretariado da convenção. Países como Austrália, Rússia, Ucrânia e Estados Unidos estão reportando seus inventários em uma base anual, China e Índia estão reportando com uma menor frequência.

A Agência de Proteção ao Meio-Ambiente dos Estados Unidos (U.S. EPA) tem trabalhado com os dados reportados, desenvolvido históricos, e projetado novas estimativas (1990-2020) das emissões globais de gases de efeito estufa. De acordo com a calculadora desenvolvida pela U.S. EPA o total de emissões de metano a partir do carvão em 2005 foi igual a, aproximadamente, o total de emissões de CO₂ de 77,2 milhões de carros em um ano. Entre 1990 e 2000, as emissões de metano diminuíram cerca de 27,1%. Esta diminuição se deve à uma redução na produção de carvão, e também à reestruturação das indústrias de carvão em vários países, como China, Rússia, e outros países produtores do leste europeu (*U.S. EPA, 2006*). A recuperação e o uso do metano também têm ajudado a diminuir as emissões na atmosfera.

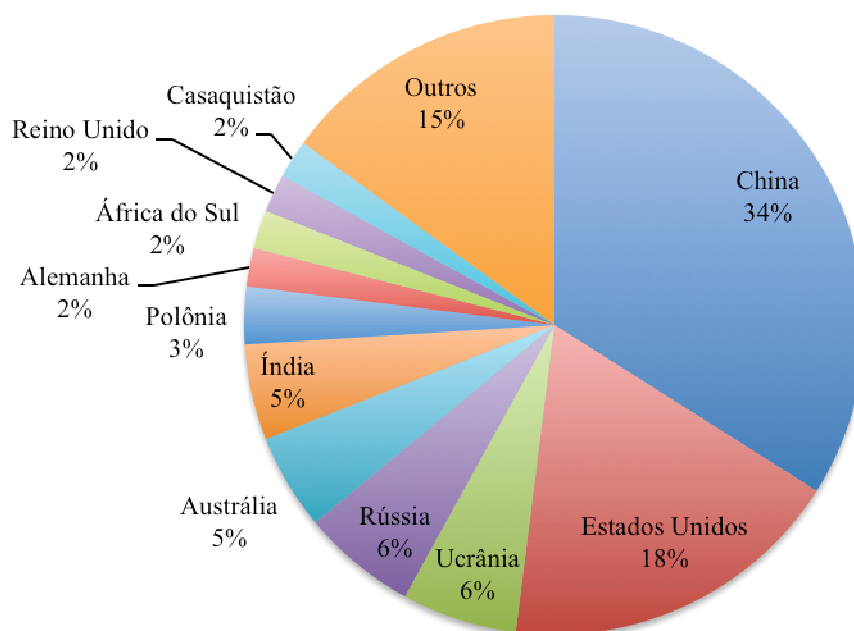


Gráfico 9.1: Estimativas Globais de Emissões de Metano a partir do Carvão em 2005 (U.S. EPA, 2006).

9.1 CHINA

A China é o maior produtor e consumidor de carvão do mundo. 70% da quantidade de energia consumida no país é gerada por esta importante fonte de energia (Cheng et al., 2011). Em 2008, a China produziu 2,58 bilhões de toneladas de carvão e consumiu 2,57 bilhões de toneladas. (U.S. EIA, 2008). De acordo com dados de 2009, a China possui, aproximadamente, 15 mil minas, das quais 268 são estatais e produzem 1/3 do carvão total do país. Em torno de 90% do carvão produzido é proveniente de minas subterrâneas (U.S. EPA, 2009a). E, aproximadamente, 85-95% das emissões de metano são provenientes de minas subterrâneas em que a ventilação das minas é a principal contribuinte (Cheng et al., 2011).

O não atingimento da demanda produzida e requisitos de segurança faz com que muitas minas sejam abandonadas, tornando-as grandes emissoras de metano. Atualmente, não existem medições em fontes de emissões a partir de minas abandonadas na China.

9.2 ESTADOS UNIDOS

Os Estados Unidos são o segundo maior produtor e consumidor de carvão no planeta, e, conseqüentemente, o segundo maior emissor de emissões de metano a partir das atividades de mineração do carvão. O carvão representou 32,5% em 2008 e 29,6% em 2009 do total de energia consumida no país (*U.S. EIA, 2009b*). Apesar das indústrias de carvão mineral nos Estados Unidos serem privatizadas, a U.S. EPA tem conduzido inventários anuais de emissões de metano a partir de minas ativas e abandonadas desde 1990.

Em 2009, 14 das 135 minas ativas de carvão consideradas emissoras coletaram metano por meio de sistemas de desgaseificação e utilizaram este gás para outros fins, reduzindo, assim, 16,2 Tg CO₂e de emissões para a atmosfera. 12 dessas minas venderam metano para linhas de gás natural, e uma delas, utilizou o metano para aquecimento do próprio sistema de ventilação da mina. O total de emissões de metano estimado é de 5,5 bilhões de metros cúbicos (*U.S. EPA, 2009b*). Deste montante, 70% são provenientes de minas subterrâneas, 14% de minas a céu aberto, 8% de minas abandonadas, ou fechadas, 8% de emissões pós-mineração.

A maior parte de emissões geradas por minas fechadas ou abandonadas é liberada na atmosfera, apenas 38 minas fechadas utilizam o metano emitido para outros fins (*U.S. EPA, 2009c*).

A U.S. EPA identifica, atualmente, 39 projetos em desenvolvimento ou em andamento, e 1 encerrado, para mitigar as emissões de metano por meio de recuperação e utilização do gás para outros fins.

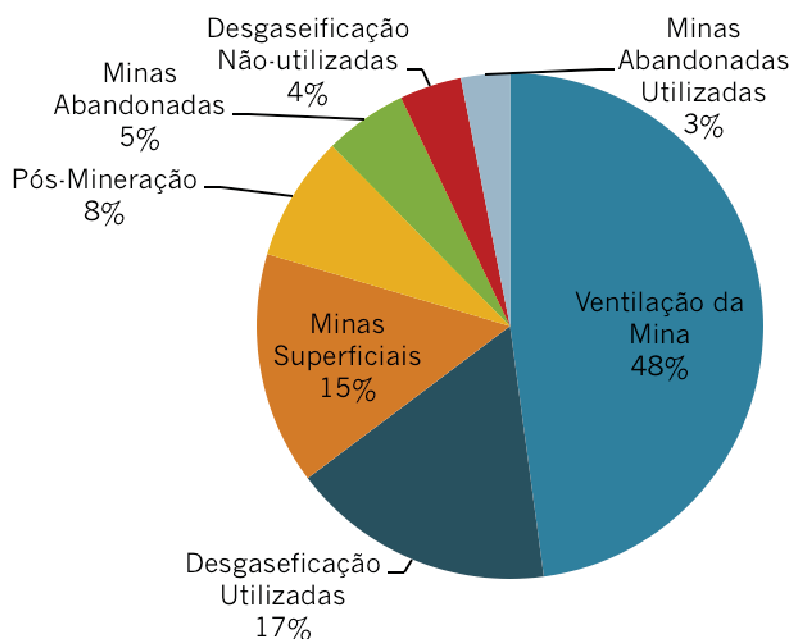


Gráfico 9.2: Emissões de Metano a partir do Carvão nos EUA em 2009 (Ruby Canon Engineering, 2010).

9.3 ÍNDIA

A Índia é o terceiro maior produtor de carvão no mundo, e o carvão é a fonte de energia mais importante no país. Em 2009, foram produzidos 613 milhões de toneladas, e consumidos 680 milhões de toneladas, isto é, foram importados 67 milhões de toneladas para que o país conseguisse suprir a demanda de energia requerida (U.S. EIA, 2009a). Por volta de 3/4 da energia gerada no país é proveniente de usinas de carvão. (U.S. EPA, 2009a). Em 2000, 27% da produção de carvão era proveniente de minas subterrâneas, atualmente este número caiu para 15% devido a maior exploração de minas a céu aberto. (U.S. EPA, 2009a).

A U.S. EPA estimou que o total de emissões de metano a partir do carvão foi de 19,46 Tg CO₂e em 2005. E é esperado que este número tenha sofrido um aumento até o final da década, ocasionado pela baixa eficiência de suas usinas geradoras a partir do carvão. Altos custos de troca por equipamentos mais novos, e o longo tempo requerido para trocas apontam que o país continuará com o sistema poluidor por algumas décadas (U.S. EPA, 2009a).

Não existe qualquer projeto em desenvolvimento ou em andamento na Índia para recuperar o metano liberado pelas minas (M2M, 2010). 5% das minas abandonadas, ou fechadas, são consideradas emissoras com um percentual igual de emissões às minas em operação de acordo com a Primeira Comunicação Nacional para o UNFCCC.

10 BENEFÍCIOS DA RECUPERAÇÃO, RECUPERAÇÃO E MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO A PARTIR DO CARVÃO.

Existem muitos benefícios em recuperar e utilizar as emissões de metano, como por exemplo: reduzir as emissões de gases de efeito estufa, conservar uma fonte local de energia-limpa, aumentar a segurança da mina diminuindo a concentração de gases inflamáveis, e prover uma fonte de renda a mais para as minas (*U.S. EPA 2009e*). Sendo um constituinte primário do gás natural, o metano é uma importante fonte de energia limpa e de baixo custo.

As indústrias globais de carvão, os governos, e os sindicatos dos trabalhadores da área estão cientes que a frequência, e a severidade de explosões devido ao carvão são extremamente altas. A drenagem de emissões de metano e os projetos de utilização do gás combinados com boas práticas de segurança são elementares para que o risco de explosões diminua consideravelmente (*C.Ö. Karacan et al., 2011*).

A utilização do metano pode agregar valor para as operações de mineração. Os gases liberados podem ser direcionados para suprir ou gerar energia, com o benefício de ser um recurso natural. O ganho com o gás recuperado pode ser revertido em gastos com segurança, e novos equipamentos para as atividades de mineração.

Projetos de recuperação do metano podem gerar benefícios financeiros a partir de venda para linhas de gás natural, economia de energia, custos menores com aquecimento / resfriamento no local, e qualificando os países nos programas de redução de créditos de carbono. (*United Nations, 2010*).

Atualmente, as decisões de investimentos ainda estão focadas apenas na expansão de minas para uma maior produção de carvão devido ao alto custo de sistemas para recuperação e utilização do metano gerado. Entretanto, para se conseguir atingir as metas de segurança propostas será necessário o avanço na drenagem de gás, neste cenário, o gás de alta qualidade drenado será um incentivo adicional para o desenvolvimento de projetos de recuperação e utilização dos gases emitidos (*United Nations, 2010*).

O desenvolvimento destes projetos vai ajudar a criar novos postos de trabalho, movimentando a economia da região, e atraindo indústrias que poderão utilizar o gás como fonte de energia, entre outros. As emissões de metano a partir de minas subterrâneas podem ser mitigadas por meio de sistemas de drenagem, que, num primeiro momento, foram desenvolvidos apenas para melhorar a ventilação de minas.

A qualidade do metano recuperado é que vai limitar para qual propósito este será utilizado. Um metano emitido por minas de média a alta qualidade (30%-100% de metano) possui vasta aplicação: uso como combustível para fornos, e caldeiras; combustão interna em motores e turbinas para geração de energia elétrica; injeção em linhas de gás natural; combustível veicular (C.Ö. Karacan *et al.*, 2011).

É possível separar metano do dióxido de carbono, oxigênio e/ou nitrogênio, muitas tecnologias estão sendo desenvolvidas para tanto. Outra solução é misturar uma mistura pobre de metano com uma muito rica chegando a um valor adequado para injeções em linhas de gás natural (U.S. EPA, 2009e).

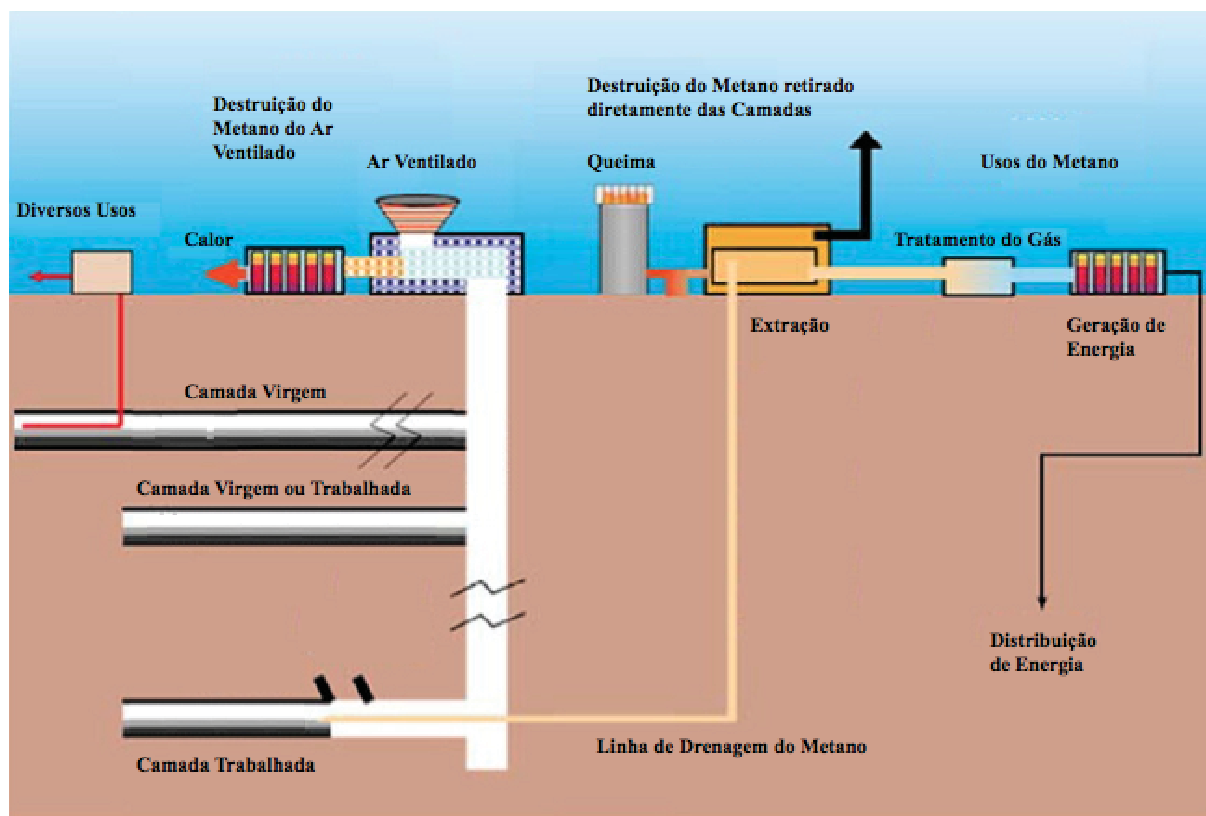


Figura 10.1: Utilizações Múltiplas, e Destruição do Metano Emitido pela Mineração Subterrânea de Carvão (Sindicatum Carbon Capital, 2011).

11 TECNOLOGIAS PARA UTILIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE METANO A PARTIR DAS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO

11.1 INJEÇÃO EM LINHAS DE GÁS NATURAL

Linhas típicas de gás natural requerem uma concentração média de metano por volta de 90 a 95%. Os elementos-chave que determinarão a viabilidade do projeto são: se o gás recuperado consegue atingir a qualidade padrão do gás contido nas linhas, e se o custo de produção, processamento, compressão e transporte são competitivos com outras fontes de gases.

Gás drenado de minas em poços fraturados, e camadas de metano contidas no carvão são, geralmente, de boa qualidade (maior que 90% de metano contido) com o mínimo de processamento necessário para a injeção em linhas de gás natural (geralmente, desidratação, e separação de dióxido de carbono) (*U.S. EPA 2009e*).

11.2 PROCESSAMENTO DE GÁS

Uma planta integrada de processamento pode ser instalada e aumentar a qualidade do gás recuperado. Este passa por diversos processos em sequencia: remoção de sulfureto de hidrogênio, remoção de vapor d'água, oxigênio, dióxido de carbono e nitrogênio. Nos EUA, o gás natural de boa qualidade que é distribuído possui menos de 0,2% de oxigênio, 3% de nitrogênio, e 2% de dióxido de carbono, menos de 112 kg/MMcm de vapor d'água, e possui um poder calorífico de 36030 kJ/m³ (*U.S. EPA, 2009d*).

Atualmente, cinco tecnologias estão disponíveis para a separação de metano: criogenia, adsorção de pressão, absorção de solvente, portão molecular, e tecnologias de membrana.

11.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

As emissões de metano a partir do carvão também podem ser utilizadas como combustível para geração de energia elétrica. Diferente do uso em linhas de gás natural, a geração de energia não requer um gás com altos padrões de qualidade, nem compressão. Motores a gás podem gerar eletricidade com um metano de poder calorífico de 13040 kJ/m^3 (*U.S. EPA, 2009e*). Minas podem utilizar energia elétrica gerada pelo metano recuperado. Geração de energia elétrica já existe em vários países, como China, Austrália, Reino Unido e Alemanha.

Motores de combustão interna são os que melhores aceitam o emprego do metano retirado de minas. Caldeiras e turbinas a vapor não são viáveis se gerarem menos de 30 MW, enquanto que para turbinas a gás este valor tem que ser acima de 10 MW. Entretanto, turbinas a gás não podem utilizar um gás menor que 50% de teor de metano, e necessitam de compressão para a operação. Quando utilizadas em aplicações corretas, turbinas a gás são menores e mais leves que motores a combustão interna, e historicamente, possuem operação e manutenção de menor custo.

O nível de capacidade elétrica que pode ser gerada depende da quantidade de metano recuperado e de taxas de calor do gerador. Por exemplo: um simples ciclo de turbina a gás tipicamente possui taxas de calor por volta de 10550 kJ/kWh (*U.S. EPA, 2009e*). Motores a gás possuem uma faixa entre 9495 a 11605 kJ/kWh , dependendo do modelo.

12 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO

Tabela 12.1			
Sumário de Vantagens e Desvantagens das Tecnologias de Aproveitamento			
Uso	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Linha de Gás Natural	Emissões de Metano de Alta Qualidade	Equivalente ao gás natural	Padrão de qualidade é alta, e os sistemas de purificação são caros
		Oportunidade de receita	Viável para gás com alto teor de metano, ou gás emitido tratado
		Boa opção onde existe infraestrutura de Gás Natural	Requere infraestrutura para ligação na linha de gás natural
Geração de Energia	Motores a Gás Gerando Energia para Uso Próprio ou Venda	Tecnologia comprovada	Variações na oferta de gases para geração
		Recuperação de calor para uso nas dependências da mina	Manutenções regulares requeridas por parte de operador Alto custo inicial de projeto
Reversão de Fluxos Oxidantes de Emissões a Partir da Ventilação das Minas	Destruição de Concentrações Diluídas de Metano nas Emissões	Destruição de uma grande fonte de emissões de metano	Alto custo inicial de projeto
		Aproveitamento de calor para aquecimento de água ou ambientes	Manutenções regulares requeridas por parte de operador
Ar Ventilado contendo Metano como Ar para Combustão	Utilizar o Ar Ventilado contendo Metano como Ar para Combustão	Destruição de uma grande fonte de emissões de metano	Alto custo inicial de projeto
		Pode ser utilizado para gerar eletricidade para uso local ou não	Manutenções regulares requeridas por parte de operador
Gás de Média Qualidade para Uso Residencial e Industrial	Utilização de Gases com 30% de Teor de Metano para Uso Residencial e Industrial, como para Fornos	Fonte de energia de baixo custo	Custo de distribuição e manutenção
		Benefícios localizados	Variação na qualidade e fornecimento
		Gases sem tratamento prévio	Reservas de gás para suprir fornecimento
Matéria-prima Química	Gás de Alta Qualidade para Produção de Carbono Negro, Formaldeídos, Combustíveis Sintéticos, e Di-metil Éter	Uso para as emissões de metano de alta qualidade	Alto custo de processamento
Local da Mina	Aquecimento, Cozimento, Caldeiras, Secagem de Carvão	Dispensa o uso de carvão	Pode ser economicamente mais viável utilizar fora do local da mina
		Fonte de energia limpa e de baixo custo	
Veículos	Gás Natural de Alta Qualidade	Acesso do mercado aos gases	Custos com processamento, armazenamento, manuseio, e transporte
		O preço de combustíveis veiculares é muito alto	Padrão de purificação muito alto
Queima	Destruição de Sobras de Emissões pelas outras Tecnologias	Baixo custo de distribuição	Concentração de 30% de metano requerida para a queima
		Eficiência de destruição de 98% a 99%	Problemas de segurança em minas

Fonte: (C.Ö. Karacan et al., 2011).

13 CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido para avaliar as emissões de gases de efeito estufa a partir das atividades do carvão. Pode-se perceber que o planeta está passando por transformações cada vez mais intensas devido à maior concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), e Gases Fluorados.

Levando em consideração estas substâncias e os três fatores fundamentais para medir o poder de efeito estufa (concentração, tempo de vida, e intensidade do impacto da substância na atmosfera) o metano possui um poder de efeito estufa maior que o dióxido de carbono, óxido nitroso, entre outros.

O metano considerado aqui, foi proveniente das atividades de mineração (retirada, processamento, transporte, e armazenamento), e, foram utilizados os métodos “*Tiers 1, 2 e 3*”, sendo que o “*Tier 1*” possui maior viabilidade e menor precisão devido a utilização de dados gerais de emissões e fatores de emissão, e o “*Tier 3*” possui menor viabilidade e maior precisão, com medições diretas e localizadas.

Foram avaliadas as emissões referentes às atividades de mineração subterrânea, a céu aberto, de minas abandonadas, ou fechadas, e processos de oxidação à baixa temperatura e combustão descontrolada. Os maiores valores de emissões estudadas foram das atividades de mineração subterrânea, com valores muito maiores que os apresentados pela mineração a céu aberto. As atividades pós-mineração apresentaram valores baixos de emissão, uma vez que o carvão, retirado de seu equilíbrio natural, já emitiu uma boa porção dos gases contidos nele.

A China e os Estados Unidos possuem uma grande parcela das emissões globais de metano provenientes do carvão e precisam diminuir a quantidade de gases liberados para a atmosfera. Desta forma, ambos os países estão investindo inventários periódicos e em projetos para recuperação e utilização dos gases a fim de obter maiores receitas e diminuir as emissões de gases de efeito estufa.

Os benefícios de utilização dos gases são variados: conservação de uma fonte de energia limpa e de baixo custo para geração de eletricidade, redução de emissões de gases de efeito estufa, aumento da segurança nas minas devido à baixa concentração de gases inflamáveis, e, até, o uso em processos químicos.

É evidente que as atividades de mineração não irão cessar tão cedo, uma vez que grandes países produtores a utilizam como fonte primária, ou secundária de energia. No cenário futuro, a utilização do carvão tende a aumentar, porém, se os países investirem em instalações que utilizem o metano para outros fins, a mitigação das emissões irá ocorrer ajudando assim o planeta a manter sua temperatura em níveis mais razoáveis para a condição da vida.

14 SUGESTÕES PARA OUTROS TRABALHOS

Conforme foi visto neste trabalho, a área de aproveitamento e utilização das emissões provenientes das atividades de mineração está em ampla expansão. São necessários investimentos e esforços na busca de otimização e melhoramento nos processos de extração de gases para que estes sejam utilizados para outros fins.

Existem vários projetos ao redor do mundo em andamento. No mundo atual, o que mais se busca é a utilização dos recursos, gerando o máximo de produtos, com o mínimo de resíduos.

Estudos e projetos podem ser viabilizados por empresas públicas e privadas, é necessário que haja um detalhamento técnico e financeiro para que os possíveis compradores vislumbrem viabilidade e interesse. Desta forma, os resultados seriam a elevação da receita financeira, e a conseqüente diminuição das emissões de gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS

- BCTRSE (1992). Quantification of methane emissions from British coal mine sources', prepared by British Coal Technical Services and Research Executive for the Working Group on Methane Emissions, The Watt Committee on Energy, UK;
- Bibler C.J. et al (1992). Assessment of the potential for economic development and utilisation of coalbed methane in Czechoslovakia'. EPA/430/R-92/1008. *US Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Washington, DC, USA*;
- Cheng, Y.-P., et al., 2011. Environmental impact of coal mine methane emissions and responding strategies in China. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 5 (1), 157–166;
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Fugitive Emissions;
- IPCC/UNEP/OECD/IEA, (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Paris: Intergovernmental Panel on Climate Change; J. T. Houghton, L.G. Meiro Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell, eds.; Cambridge University Press, Cambridge, U.K;
- KARACAN, C. Özgen. Coal Mine Methane: A review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction. 2010. 36 f. Review (0) - Office Of Mine Safety And Health Research, Pittsburgh, Pa, Usa, 2011;
- Lama RD (1992). Methane gas emissions from coal mining in Australia: estimates and control Strategies' in *Proceedings of the IEA/OECD Conference on Coal, the Environment and Development: Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions, IEA/OECD, Paris, France, pp. 255-266*;
- Pilcher R.C. et al (1991). Assessment of the potential for economic development and utilisation of coalbed methane in Poland'. EPA/400/1-91/032, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA;
- RICKLEFS, R. E. A economia da natureza. 3. ed. Trad Cecília Bueno. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996;
- U.S. EIA, 2009a. International Energy Statistics 2009. U.S. Energy Information Administration, Washington, DC;

- US EPA (1993a). Anthropogenic methane emissions in the United States: estimates for the 1990 Report to the US Congress, US Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Washington DC, USA;
- US EPA (1993b). Global anthropogenic methane emissions; estimates for the 1990 Report to the US Congress, US Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning and Evaluation. Washington, DC, USA;
- U.S. EPA, 2006. Global anthropogenic non-CO₂ greenhouse gas emissions: 1990–2020. US Environmental Protection Agency;
- U.S. EPA, 2009a. Global overview of CMM opportunities. US Environmental Protection Agency Coalbed Methane Outreach Program In support of the Methane to Markets Partnership;
- U.S. EPA, 2009d. Coal Mine Methane Recovery: A Primer U.S. Environmental Protection Agency. EPA 430-R-09-013;
- U.S. EPA, 2009e. Identifying Opportunities for Methane Recovery at U.S. Coal Mines: Profiles of Selected Gassy Underground Coal Mines 2002–2006. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 430-K-04-003;
- Zimmermeyer G. (1989). ‘Methane emissions and hard coal mining’, gluckaufhaus, Essen, Germany, Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus, personal communication.