



## ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA PROVENIENTES DA MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA DE CARVÃO

**Beatriz Bonetti** - beatriz.bonetti@acad.pucrs.br  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)  
Av. Ipiranga 6681  
90619-900 - Porto Alegre - Rio Grande do Sul.

**Rafael Colombo Abruzzi** - rafael.abruzzo@acad.pucrs.br  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

**Arthur Kunitz Bitencourt** - arthur.kunitz@acad.pucrs.br  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

**Marta Eliza Hammerschmitt** – marta.hammerschmitt@acad.pucrs.br  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

**Marçal José Rodrigues Pires** - mpires@pucrs.br  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

**Resumo:** A emissão de metano ( $CH_4$ ) e dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) provenientes da exploração do carvão fóssil contribuem significativamente com o agravamento do Efeito Estufa. Este estudo foi realizado em duas minas subterrâneas de carvão localizadas na Jazida Sul Catarinense (Bacia do Paraná, formação Bonito) nas camadas Barro Branco (Mina A) e camada Bonito (Mina B). Amostras de ar ambiente dessas minas foram coletadas, ao longo do circuito de ventilação, utilizando frascos alternativos, e os gases de interesse quantificados por cromatografia gasosa (FID-metanador). Foram também realizadas medidas de velocidade, temperatura, pressão e umidade do ar visando à determinação das vazões. As estimativas de emissão de  $CH_4$  e  $CO_2$  foram realizadas com diferentes metodologias nas quais se diferenciam de acordo com fatores de emissão, concentração, produção de carvão e vazão total da ventilação. Considerando que este é o primeiro estudo realizado no Brasil referente à emissão de  $CH_4$  e  $CO_2$  em minas subterrâneas de carvão no qual é levado em consideração suas características de lavra, estima-se que os valores encontrados em literatura superestimam até 97 vezes mais que o valor emitido por cada mina. As maiores concentrações de  $CH_4$  e  $CO_2$  foram encontradas em amostras coletadas na Mina A. Acredita-se que essas maiores concentrações estejam atreladas a fatores operacionais e geológicos. Estima-se que seja emitido da Mina A (12.572 t  $CO_2$  eq/ano) e da Mina B (3.603t  $CO_2$  eq/ano). Este estudo indicou a necessidade de uma avaliação mais ampla e sistemática da qualidade do ar de minas de carvão no país que leve em consideração fatores operacionais característicos de cada mina.

**Palavras-chave:** Carvão, Emissão, Gases de Efeito Estufa.



## GASES ESTIMATE OF GREENHOUSE EFFECT FROM COAL MINING UNDERGROUND

**Abstract:** *The emission of methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) from fossil coal exploitation contribute significantly to the worsening of the greenhouse effect. This study was conducted in two underground coal mines located in South Oilfield Santa Catarina (Paraná Basin, Bonito Formation) in Barro Branco layers (Mina) and Bonito layer (Mine B). ambient air samples were collected over the mines along the ventilation circuit, using alternative vials, the gases of interest and quantified by gas chromatography (FID-methanator). Speed measurements were also performed, temperature, pressure and humidity in order to determine the flow. Estimates of emissions of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> were conducted with different methodologies in which differ according to emission factors, concentration, coal production and total flow ventilation. Whereas this is the first study in Brazil concerning the emission of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> in underground coal mines in which is taken into consideration its mining characteristics, it is estimated that the values found in the literature overestimate up to 97 times more than the amount emitted from each mine. The highest concentrations of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> were found in samples collected in Mina A. It is believed that these higher concentrations are linked to operational and geological factors. It is estimated to be emitted from the Mina A (12.572 t CO<sub>2</sub> eq / year) and Mina B (3.603 t CO<sub>2</sub> eq / year). This study indicated the need for a more comprehensive and systematic assessment of air quality of coal mines in the country that takes into account operational factors characteristic of each mine.*

**Keywords:** *Coal mining, emission, Greenhouse gases.*

### 1. INTRODUÇÃO

O carvão fóssil se origina da decomposição de detritos orgânicos e inorgânicos, cuja deposição sofreu processos de diagênese, metagênese e catagênese através do aumento de pressão e de temperatura (GWPRF, 2003). As principais minas subterrâneas de carvão são encontradas em território brasileiro nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A composição do ar ambiente nesses ambientes está relacionada a diversos fatores, vários deles relacionados aos processos de extração de carvão. Esses fatores incluem o desmonte de rochas, a decomposição de substâncias orgânicas, a água subterrânea, a operação de equipamentos com motor de gasóleo, as explosões, os eventuais incêndios, os minerais em geral e o próprio carvão (TORRES & GAMA, 2005).

Dentre os gases presentes no ar de mina destacam-se o metano (CH<sub>4</sub>) e o Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principais causadores do efeito estufa, uma vez que são capazes de absorver parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, evitando que elas escapem para o espaço, o que resulta no aumento significativo da temperatura. Em minas de carvão o CO<sub>2</sub> é emitido a partir da decomposição da matéria orgânica por microrganismos, que atuam na formação geológica, além de ser decorrente da respiração dos trabalhadores e também de processos de combustão dos equipamentos utilizados na mina (GAMES, 1979). Já o CH<sub>4</sub>, com impacto 21 vezes maior que o CO<sub>2</sub> (IPCC, 2006), tem na mineração do carvão uma de suas principais fontes de emissão. O metano pode ser liberado no ar ambiente de minas a partir de diversas fontes e em variadas concentrações, isso porque, à medida que o metano emerge das camadas de carvão e fendas, ele progressivamente se mistura com o ar de ventilação e é diluído (KISSEL, 2006).

Segundo dados do Painel Governamental de mudanças climáticas (IPCC, 2014), a contribuição para o agravamento do efeito estufa a partir de atividades relacionadas à mineração está sujeita a incertezas ao conteúdo energético do carvão já que este é específico para cada atividade desenvolvida na mina.

Estudos desenvolvidos por Cook & Lloyd (2012) e Lloyd & Cook (2005) na África do Sul e Carras, et al. (2009) na Austrália, aplicam metodologias nas quais permitem estimar emissões de diferentes gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, entre outros) advindos de atividades de mineração. As metodologias empregadas para essas estimativas consistem na utilização de cilindros colocados sob o solo, que permitem controlar o fluxo e diluição dos gases proveniente desses ambientes. Assim,

posteriormente é realizado o cálculo das emissões através da associação de parâmetros de concentração dos gases, diluição, fluxo, área e tempo. Harpalani & Prusty (2009) estimou a emissão de metano em duas minas subterrâneas de carvão na Índia. Para isso, foi desenvolvido cálculos com base em valores de concentração e vazão do metano presente nas minas.

No Brasil as emissões fugitivas na mineração e beneficiamento do carvão fóssil foram estimadas em dois inventários de emissões de gases de efeito estufa do setor energético (MCT, 2006; 2010). Nesses inventários a metodologia empregada foi a recomendada pelo IPCC (1997), baseada em fatores de emissão genéricos para CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> gerados a partir das atividades de mineração subterrânea, a céu aberto e pós-mineração. A estimativa consiste em uma fórmula composta pela produção de carvão (fornecido pelas carboníferas), fator de emissão do gás e fatores de conversão de unidades. Esse método é indicado quando não há dados de concentração/emissão desses gases para uma determinada jazida ou mina.

Em geral, os gases gerados em minas subterrâneas de carvão acabam contribuindo significativamente com o agravamento do efeito estufa. Por isso, este estudo tem como objetivo determinar a concentração de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> de duas minas de carvão subterrâneas localizadas na jazida Sul Catarinense e estimar a emissões desses gases por diferentes metodologias de cálculo e comparando os resultados com as estimativas oficiais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em duas minas subterrâneas de carvão localizadas na jazida Sul Catarinense, Bacia do Paraná, formação Bonito (Figura 1), minerando carvões das camadas Barro Branco (mina A) e camada Bonito (mina B). A exploração de carvão ocorre em profundidades que variam de 150 à 180 m, por meio de métodos de câmaras e pilares e por detonação.

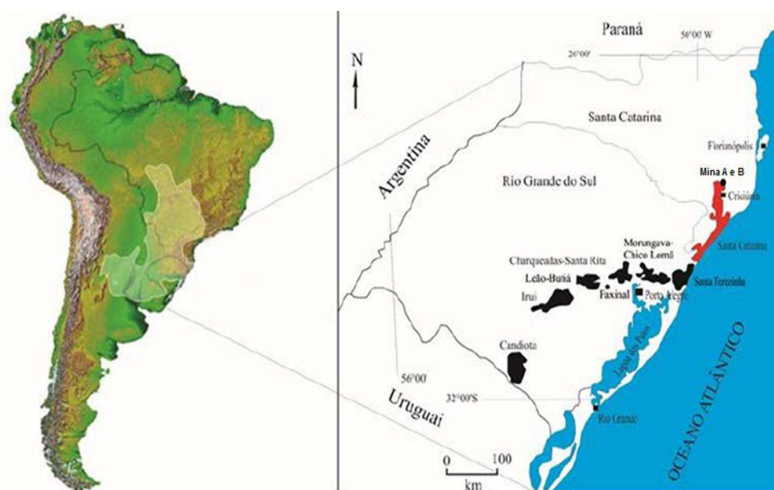


Figura 1 – Mapa da América do Sul com destaque nas jazidas localizadas na região Sul do Brasil (em preto) e na Jazida Sul Catarinense (em vermelho) onde foi realizado este estudo (Mina A e Mina B).  
Fonte: Adaptado de CPRM (2003).

As coletas dos gases nas minas foram realizadas em diversos pontos ao longo do circuito de ventilação, o qual é composto por um ventilador principal, ventiladores secundários na frente de lavra e um exaustor (Figura 2). Foram coletados cinco pontos no circuito de entrada da ventilação, e dois pontos no retorno da ventilação (antes e após a detonação) e em locais que ocorrem maiores emanções de gás (Mina A). Além da coleta dos gases, foram realizadas medições da temperatura, umidade, pressão e velocidade do ar em cada ponto de coleta com um Anemômetro (Kestrel® 4000NV) seguindo metodologia sugerida por Pinto, et al. (2003). Uma Trena digital (BOSCH

GLM80 Professional) também foi utilizada para medir a área transversal dos locais amostrados. As medições auxiliares foram utilizadas nos cálculos e vazões e das emissões.

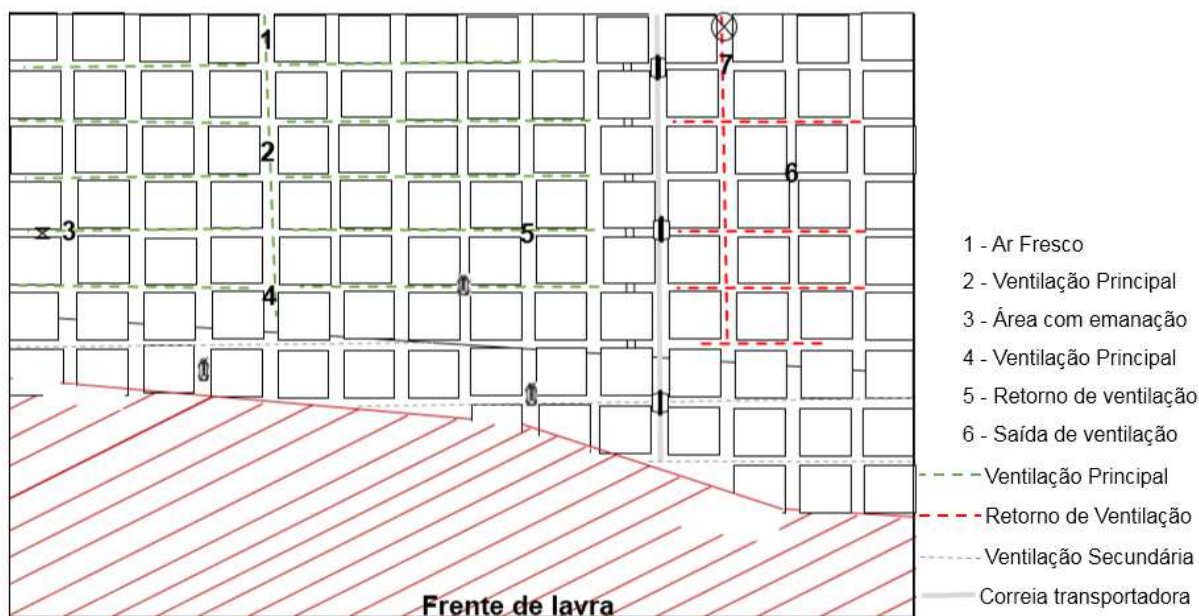


Figura 2 – Representação dos pontos de coleta nas Minas.

## 2.2. Coletores

Com o intuito de garantir o armazenamento e transporte dos gases, além de possibilitar a reutilização e a redução de custos, materiais e sistemas alternativos de coleta foram utilizados. Foram utilizados frascos alternativos produzidos em borosilicato com tampa plástica com rosca e septos de borracha butílica (Supelco) e de Teflon (PTFE)/Silicone (Supelco) foram utilizados para coletar e armazenar as amostras gasosas oriundas de mina de carvão (Figura 3). Esses coletores foram validados anteriormente com amostras (reais e sintéticas) por comparação com sistemas usuais de coleta e estocagem de gás como os frascos comerciais *Exetainer*<sup>®</sup> (LABCO) (ABRUZZI, et al. 2015).



Figura 3 –Frasco alternativo e septos utilizados na coleta e estocagem das amostras gasosas.

Antes das coletas os frascos foram lavados com água deionizada e Extran<sup>®</sup> e secos em estufa (3 h, 100 °C), para garantir que não houvesse contaminação das amostras de gás. Posteriormente, foram evacuados, com o auxílio de uma linha de vácuo utilizando uma bomba T-Station75 (Edwards). Foram coletadas 15 mL de amostra em cada frasco sendo que para cada ponto de coleta a amostragem foi realizada em triplicata.

## 2.3. Análise dos gases

Para a determinação da concentração de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, foi utilizado o Cromatógrafo à Gás PerkinElmer, modelo Clarus 580. Este possui detector do tipo FID (*flame ionization detector*), e coluna Elite Plot Q com 0,53 mm interno, 20 mm de espessura de filme de fase estacionária, 30 m de comprimento com intervalo de temperatura de 40 a 250 °C, equipado com metanador (KUCKARTZ, 2014). Através do auxílio de uma microseringa *gastight* (500 µL, agulha de 0,5 mm, PerkinElmer<sup>TM</sup>),





foram injetados 300 µL de cada amostra. A temperatura do injetor, detector e do forno, foram respectivamente 200, 350 e 50 °C, sendo que a vazão total do gás de arraste (He) foi de 10 mL min<sup>-1</sup>.

## 2.4. Cálculos da estimativa de Emissão de Gases de efeito estufa

Os cálculos realizados para estimar as emissões fugitivas de gases de efeito estufa (GEE) proveniente das duas minas estudadas, foram baseados em métodos desenvolvidos pelo IPCC (2006) e comparados com estudos realizados por Harpalani & Prusty (2009) e Lloyd & Cook (2005).

Primeiramente, foi realizado cálculos de vazões mássicas baseados na lei dos gases ideais (BALL, 2005) onde, os valores utilizados para esses cálculos foram referentes às concentrações, temperaturas, pressões e vazões determinadas em alguns pontos das minas.

Para a estimativa anual de emissão do CH<sub>4</sub>, a primeira metodologia utilizada foi baseada no método *Tier 1* Equação (1), desenvolvido pelo IPCC (2006).

$$E (\text{Gg CH}_4) = FE \times \text{TPC} \times \text{FC} \quad (1)$$

Onde: E (Gg CH<sub>4</sub>) - Estimativa anual de emissão de metano (Gg); FE - Fator de emissão; TPC - toneladas de carvão produzido (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup>); FC - Fator de conversão (Gg 10<sup>-6</sup> m<sup>-3</sup>).

São consideradas para isso, as seguintes condições: A produção da mina A e da mina B (t/ano); Fator de emissão (10m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>) referente a minas com baixa geração de gás (IPCC, 2006); e Fator de conversão de unidades (6x10<sup>-7</sup> Gg m<sup>-3</sup>).

Devido a variabilidade da concentração de gás ao longo do circuito de ventilação das minas, outro método apresentado para determinar a emissão anual de CH<sub>4</sub>, é o *Tier 3* Equação (2) também desenvolvido pelo IPCC (2006) e apresentado por Irving & Tailakov (1999). Este método foi elaborado para substituir o *Tier 1* em minas com baixa concentração de CH<sub>4</sub> (até 1.000 ppm), considerando para a estimativa, o fluxo de ar da ventilação.

$$\text{END de CH}_4 = 0,05\% \times \text{TFD} \times 365 \text{ dias} \quad (2)$$

Onde: END – Emissão Não Detectada (para minas com concentração de até 1.000 ppm de CH<sub>4</sub>); TFD – Taxa de fluxo diária de CH<sub>4</sub> (m<sup>3</sup>/dia).

Baseados nessa metodologia, Harpalani & Prusty (2009) desenvolveu um estudo nos Estados Unidos para a determinação de CH<sub>4</sub>, assumindo para isso, uma média das concentrações do gás de mina e a vazão de ar proveniente do sistema de ventilação expressa na Equação 3.

$$E_{3\text{Metano}} (\text{Gg CH}_4/\text{ano}) = C \text{ CH}_4 \times \text{TFD} \times 365 \text{ dias} \quad (3)$$

Onde:

C CH<sub>4</sub> – Concentração de metano (ppm);

TFD - Média da vazão total de ar na saída de ventilação da mina em m<sup>3</sup>/dia.

Neste trabalho a concentração e vazão considerada para este cálculo foi a da saída das minas. Foi realizado também, os cálculos considerando os valores de pressão (1 atm) e temperatura (20 °C) adotados pelo IPCC (2006) como padrão para a determinação da vazão.

Para a estimativa anual da emissão de CO<sub>2</sub> Equação (4) a metodologia aplicada também é baseada em Harpalani & Prusty (2009), no qual estabelece como parâmetros a concentração desse gás na saída de cada mina e a vazão total de ar.

$$E2 \text{ CO}_2 (\text{Gg CO}_2) = C \text{ CO}_2 \times \text{TFD} \times 365 \quad (4)$$

Onde: C CO<sub>2</sub> – Concentração de dióxido de carbono (ppm); TFD - Média da vazão total de ar na saída de ventilação da mina em m<sup>3</sup>/dia.

Para a realização das estimativas de emissão de GEE por CO<sub>2</sub> equivalente, a metodologia aplicada se baseia na apresentada pelo IPCC (2006) que considera as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, multiplicando essas pelos seus Potenciais de Aquecimento Global (do inglês, *Global Warming Potential- GWP*) em relação ao CO<sub>2</sub> apresentadas na Equação (5).

$$E_{\text{CO}_2\text{eq}} = 1 \times E_{\text{CO}_2} + 25 \times E_{\text{CH}_4} + 298 \times E_{\text{N}_2\text{O}} \quad (5)$$

O termo relacionado ao óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) foram desconsiderados neste trabalho, visto que a presença desse gás não é reportada em ambientes de minas subterrâneas de carvão (TORRES & GAMA, 2005).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Concentração de Gases na mina A e Mina B

Na Mina A, as médias das concentrações variaram de 115 à 3.523 ppm para CH<sub>4</sub> e de 735 à 1.913 ppm para CO<sub>2</sub> conforme apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> no ar ambiente coletado em diferentes pontos na Mina A.

Áreas	Pontos	CH <sub>4</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)
Circuito de alimentação de ventilação	1	<LD <sup>a</sup>	793 ± 4
	2	<LD <sup>a</sup>	735 ± 2
	3	1.122 ± 13	1.669 ± 43
	4	3.523 ± 2.171	1.339 ± 502
	5	669 ± 314	1.913 ± 414
Circuito de Retorno da Ventilação	6	115 ± 2	1.219 ± 20
	7	171 ± 3	1.292 ± 65

<sup>a</sup> LD – Limite de detecção.

Nota-se que há um aumento da concentração dos gases a medida em que se adentra a mina, confirmando dessa forma que há a geração de gases em seu interior. Nas áreas identificadas com emanção dos gases CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (Ponto 4), as concentrações são maiores devido, provavelmente, a falhas geológicas e a porosidade do carvão, que de acordo com Pan et al. (2016) resultam em um maior fluxo de liberação dos gases acarretando o aumento de suas concentrações no ambiente subterrâneo. Um estudo realizado por Oliveira (2009) indica que próximo a camada de carvão da mina A, há a ocorrência de arenitos oleosos os quais são responsáveis pela geração de gases que podem através de fraturas, migrarem para as camadas de carvão. Assim, esse fenômeno poderia justificar as maiores concentrações de gases observados nessa mina comparados a Mina B.

As concentrações de gases obtidas na mina B variaram de 34 a 96 ppm para CH<sub>4</sub> e de 281 a 760 ppm para CO<sub>2</sub> conforme apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> no ar ambiente coletados na Mina B.

Área	Pontos	CH <sub>4</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)
Circuito de alimentação de ventilação	1	<LD <sup>a</sup>	312 ± 12
	2	<LD <sup>a</sup>	281
	3	<LD <sup>a</sup>	343 ± 21
	4	34	533
	5	96 ± 17	722 ± 21
Circuito de Retorno da ventilação	6	51 ± 4	707 ± 19
	7	54 -	760 -

<sup>a</sup> LOD – Limite de detecção.

A variação da concentração ao longo do circuito de ventilação tanto na Mina A quanto na Mina B, além de estar atrelada a questões geológicas, pode também ser provocada por sistemas operacionais, pois, os equipamentos e maquinários com motor a diesel, acabam gerando gases a partir da queima de combustível, em diferentes pontos da mina. Outro fator referente aos sistemas operacionais é o método de exploração utilizado na mina, que nesse caso, é por detonação. A respiração dos trabalhadores também pode causar essa alteração mesmo que em quantidades menores.

Além disso, cabe ressaltar que essas variações podem ser associadas ao sistema de ventilação, no qual varia durante toda a extensão da mina. Pinto et al. (2003) considera que cada circuito de ventilação possui características únicas que envolvem dados de pressão, fator de atrito, resistência das galerias, teores de gases, poeiras, temperaturas etc. Esse conjunto de mecanismos faz com que haja a alteração da distribuição dos gases em função de sua vazão.

Em razão a isso, foram realizadas as medidas de vazões mássicas (Tabela 3) em alguns pontos, com o intuito de correlacionar os dados de concentração dos gases com os principais mecanismos que envolvem o sistema de ventilação.

Tabela 3 - Vazão mássica dos gases CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> em diferentes pontos da mina A e mina B.

Local		Vazão mássica (kg h <sup>-1</sup> )			
		Mina A		Mina B	
		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
Entrada da ventilação	min.	<1	53	<1	12
	max.	<1	121	<1	16
Retorno de Ventilação	min.	5	55	1,5	56
	max.	20	154	5	185

Apesar de suas características serem diferentes, as vazões mássicas de CO<sub>2</sub> nas duas minas foram semelhantes. As maiores vazões encontram-se, assim como esperado, no retorno da ventilação nas duas minas. Isso ocorre devido ao sistema forçado que é composto com ventiladores e exaustores nos quais garantem que o ar fresco chegue aos mais extremos pontos da mina, garantido dessa forma que haja a diluição dos gases.

Com os resultados obtidos a partir das concentrações e vazões de cada mina, a comparação dos dados amostrados, demonstram que há uma maior geração de gás na mina A.



Diante desses valores, é possível identificar quais os pontos emitem maior concentração de gás, sendo que esses na mina A são referentes às áreas com emanção de gás e na mina B, em pontos onde a coleta foi realizada após a detonação.

### 3.2. Estimativa de GEE

Para a estimativa de emissão de GEE provenientes das minas A e B, diferentes metodologias foram aplicadas, resultando nos valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Estimativas de emissão de GEE das minas Minas A e B por diferentes metodologias.

Gás	Metodologia Aplicada	Unidade	Emissão	
			Mina A	Mina B
CH <sub>4</sub>	<i>Tier 1</i>	t CH <sub>4</sub> /ano	3.984	6.432
CH <sub>4</sub>	<i>Tier 3</i>	t CH <sub>4</sub> /ano	886	721
CH <sub>4</sub>	Conc. X Vazão	t CH <sub>4</sub> /ano	273	66
CO <sub>2</sub>	Conc. X Vazão	t CO <sub>2</sub> /ano	4.006	2.240
Total	CO <sub>2</sub> equivalente <sup>a</sup>	t CO <sub>2</sub> eq / ano	12.572	3.634

Conforme esperado, apesar de serem referentes à mesma estimativa, os valores apresentaram uma diferença considerável. Acredita-se que isso esteja relacionado com os fatores utilizados na metodologia dos cálculos. Nota-se através do *Tier 1* que o fato de a produção da Mina B, ser o dobro da produção da mina A, colaborou para o aumento da estimativa de emissão de CH<sub>4</sub> assim como ocorreu na metodologia aplicada para a emissão de CO<sub>2</sub>.

O *Tier 3*, por levar em consideração um limite fixo de concentração de CH<sub>4</sub>, acaba superestimando os valores estimados nas minas. Isso pode ser observado através da metodologia utilizada por Harpalini & Prusty (2009), na qual leva em consideração os valores de vazão e concentração de CH<sub>4</sub> em cada mina, diferenciando consideravelmente suas estimativas.

Comparando os resultados obtidos nas duas minas com os Inventários Brasileiros de Emissão de GEE provenientes de Atividades Mineradoras (MCT, 2006, 2010) observa-se que a metodologia utilizada por estes para as estimativas, superestimam de 8 até 97 vezes mais os valores que foram encontrados neste trabalho. Isso ocorre, provavelmente, devido aos fatores que são utilizados para as estimativas nesses inventários no qual é levado em consideração a produção anual de cada mina e não as concentrações e vazões características de cada uma. Além disso, utilizando os dados de produção, não são levados em considerações características operacionais e geológicas que, conforme apresentado neste trabalho, acabam influenciando diretamente na emissão de GEE provenientes desses ambientes.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As maiores concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> encontradas nas duas minas foram verificadas nos retornos de ventilação e em áreas com emanção de gases principalmente da Mina A. Acredita-se que com base nas metodologias estudadas e aplicadas nesse estudo, a que apresenta condições coerentes para as estimativas de GEE são as desenvolvidas com base nas concentrações e vazões das minas. Cabe ressaltar que esses resultados são referentes a coletas realizadas em apenas um dia de atividade das minas, fazendo com que necessite dessa forma de um monitoramento contínuo dessas emissões para garantir dessa forma a precisão dos dados.

### Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a CNPq/CAPES, FAPERGS, SATC e a PUCRS pelo apoio recebido. Também gostariam de agradecer as mineradoras pela autorização e incentivo aos estudos.





## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRUZZI, R. C.; et al. Analysis of Alternative Materials for Collection and Storage of Greenhouse Gases. In: XIV Brazil MRS Meeting (SBPMat), Rio de Janeiro, Brazil, 2015.

BALL, David W. Físico-Química–Vol. 1. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

CARRAS, J. N. et al. Greenhouse gas emissions from low-temperature oxidation and spontaneous combustion at open-cut coal mines in Australia. **International Journal of Coal Geology**, v. 78, n. 2, p. 161-168, 2009.

COOK, A. P.; LLOYD, P. J. D. The estimation of greenhouse gas emissions from South African surface and abandoned coal mines. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 112, n. 12, p. 1087-1090, 2012.

GAMES, L. M.; HAYES, J. M.; GUNSALUS, R. P. Methane-producing bacteria: natural fractionations of the stable carbon isotopes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Oxford, v. 42, n. 8, p. 1295-1297, aug. 1978.

GWPRF – GROUND WATER PROTECTION RESEARCH FOUNDATION. **Handbook on Coal Bed Methane Produced Water: Management and Beneficial Use Alternatives**. Oklahoma: ALL Consulting Tulsa, 2003. 322p. Disponível em: [http://www.all-llc.com/publicdownloads/CBM\\_BU\\_Screen.pdf](http://www.all-llc.com/publicdownloads/CBM_BU_Screen.pdf). Acesso em: 12 de dezembro de 2015.

HARPALANI, S.; PRUSTY, B. K. **Quantification of Ventilation Air Methane Emission from Gassy Underground Coal Mines in India**. United States Environmental Protection Agency (USEPA) Washington, D.C. 2009.

IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC – Intergovernmental Panel on 27 Climate Change. 2006. Disponível em <https://www.ipcc.ch/meetings/session25/doc4a4b/vol1.pdf>. Acesso: 05 de Março de 2016.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Bracknell, UK, 1997. OECD, IEA. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso: 05 de Março de 2016.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em 05 de março de 2016.

IRVING, W.; TAILAKOV, O. CH<sub>4</sub> Emissions: Coal Mining and Handling. **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories**, 1999. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>. Acesso em 05 de Março de 2016.

KISSEL, F. N. Facts about methane that are important to mine safety. **Handbook for Methane Control in Mining**. Pittsburgh, 2006. 184p.

KUCKARTZ, S. F. R.V. **Estudo de métodos de coleta e análise de metano em gás de mina de carvão subterrânea**. Porto Alegre, 102p., 2014. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

LLOYD, P. J. D.; COOK, A. Methane release from South African coalmines. **Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 105, n. 7, p. 483-490, 2005.



OLIVEIRA, E. B. **Geração não convencional de hidrocarbonetos na região carbonífera de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 103 p., 2009 Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

PAN, J.; et al. Micro-pores and fractures of coals analyzed by field emission scanning electron microscopy and fractal theory. **Fuel**, v. 164, p. 277-285, 2016.

PINTO, P. C.; et al. Construção de um modelo computacional para o circuito de ventilação da Mina Esperança. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 56, n. 4, p. 243-248, 2003.

MCT, PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO SETOR ENERGÉTICO: **Emissões Fugitivas na Mineração e Beneficiamento do Carvão Mineral**. Associação Brasileira de Carvão Mineral (ABCM). Ministério da Ciência e Tecnologia. 2006. Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8850.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8850.pdf). Acesso em: 28 de janeiro de 2016.

MCT, SEGUNDO INVENTÁRIO BRASILEIRO. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO SETOR ENERGÉTICO: **Emissões Fugitivas na Mineração e Beneficiamento do Carvão Mineral**. Associação Brasileira de Carvão Mineral (ABCM). Ministério da ciência e tecnologia. 2010. Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0210/210144.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0210/210144.pdf). Acesso em: 28 de janeiro de 2016.

CPRM Serviço Geológico do Brasil -. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. Organizadores Luiz Augusto Bizzi, Carlos Schobbenhaus, Roberta Mary Vidotti, João Henrique Gonçalves – Brasília: 2003. 692 p.

TORRES, V. F. N.; GAMA, C. D. Engenharia Ambiental Subterrânea e Aplicações. Rio de Janeiro. CETEM/CYTED, 2005. 550 p.