

MINERAÇÃO DE BAIXO CARBONO: BREVE RELATO SOBRE ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO₂ EM MINERAÇÃO

Gisele Victor BATISTA¹; Alice MACCARI²; Daniela Fernandes MEDEIROS³

¹Harpia Meio Ambiente, gisele@harpia.meioambiente.com.br; ²Harpia Meio Ambiente, alicemaccari@hotmail.com; ³Harpia Meio Ambiente, daniamedeiros8@yahoo.com.br

RESUMO

A partir do Acordo de Paris, firmado em novembro de 2015 durante a 21ª reunião da Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, a reflexão sobre as questões ambientais, sobretudo no âmbito das mudanças climáticas, ganharam notoriedade e um compromisso histórico para combater o aquecimento global foi firmado. Neste contexto, os países signatários, foram convocados a indicar medidas para a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE), no intuito de transformação de matrizes produtivas tradicionais para um modelo econômico de baixo carbono. No setor minerário, a grande variedade de produtos gerados por esta indústria decorre na geração de três significantes GEE: dióxido de carbono (CO₂), gás metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Contudo, estudos revelam que os danos causados ao clima, no que tange aos processos relacionados à mineração, podem ser mitigados, cuja contribuição vem ao encontro do estabelecido no Plano e na Política Nacional sobre Mudança do Clima. Com base no exposto, este artigo tem como principal objetivo apresentar um breve relato sobre o armazenamento geológico de CO₂ em mineração, tendo como base os preceitos da economia de baixo carbono. Para o melhor tratamento da problemática, procederam-se à pesquisa em produções científicas, nacionais e internacionais e ao levantamento da legislação pertinente à matéria. De acordo com o estudado, dentre as metodologias existentes à redução de emissões dos GEE, destaca-se a tecnologia de Captura e Armazenamento Geológico de Carbono (*Carbon Capture and Geological Storage – CCGS*). O Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas da ONU (IPCC) define a captura e armazenamento do CO₂ em reservatórios geológicos como um processo que consiste na separação de CO₂, no transporte deste CO₂ e seu armazenamento, a longo prazo, em reservatórios geológicos, isolando-o da atmosfera. Uma outra metodologia existente inclui a captura e destruição de metano das minas de carvão abandonadas. Essa metodologia quantifica as reduções de emissões geradas pela captação e destruição de metano de minas de carvão abandonadas/desativadas. A captura e destruição de metano impede que os gases de efeito estufa sejam emitidos na atmosfera quando uma mina de carvão é abandonada. Considera-se oportuno citar, ainda, a pré-drenagem de metano de uma mina ativa aberta, como uma atividade de redução de emissão de metano, a qual quantifica as reduções de emissões de gases de efeito estufa fornecendo uma abordagem para determinar a quantidade de metano que seria liberada sem o projeto. Apesar dos ganhos ambientais e do grande potencial a ser explorado quanto à mitigação de GEE por meio da tecnologia CCS, sua aplicação no Brasil ainda é restrita. Atualmente, citam-se como os principais entraves para projetos CCS a falta de aceitação pública, o custo da tecnologia, a incerteza científica, a falta de incentivos políticos e financeiros, a falta de legislações e marcos regulatórios e a responsabilidade civil em longo prazo. Ainda, constatou-se neste estudo que existem poucos incentivos nas políticas climáticas do Brasil e existem várias leis correlatas e situações análogas para projetos CCS. Para isso, deve-se aumentar envolvimento do governo, sobretudo pelo incentivo fiscal e na disseminação de informações entre órgãos reguladores, ao ponto de conquistar-se o engajamento da sociedade civil no apoio do CCS.

Palavras-chave: Aquecimento global. Gases de efeito estufa. Mineração de carvão. Dióxido de carbono.

ABSTRACT

Following the Paris Agreement, signed in November 2015 at the 21st meeting of the Conference of the Parties (COP21) of the United Nations Framework Convention on Climate Change, consideration of environmental issues, particularly in the context of climate change, has gained Notoriety and a historic commitment to combat global warming has been signed. In this context, the signatory countries were invited to indicate measures to reduce greenhouse gas (GHG) emissions, in order to transform traditional production matrices into a low carbon economic model. In the mining sector, the great variety of products generated by this industry results in the generation of three significant GHGs: carbon dioxide (CO₂), methane gas (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). However, studies have shown that the damage caused to the climate, related to mining processes, can be mitigated, whose contribution is in accordance with the Plan and the National Policy on Climate Change. Based on the above, this article has as main objective to present a brief report

on the geological storage of CO₂ in mining, based on the precepts of the low carbon economy. For the best treatment of the problem, the research was carried out in scientific, national and international productions and the collection of relevant legislation. According to the study, among the existing methodologies for the reduction of GHG emissions, Carbon Capture and Geological Storage (CCGS) stands out. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) defines the capture and storage of CO₂ in geological reservoirs as a process of separating CO₂, transporting CO₂ and storing it in geological reservoirs in the long term, the atmosphere. Another existing methodology includes the capture and destruction of methane from abandoned coal mines. This methodology quantifies the emission reductions generated by methane capture and destruction of abandoned / decommissioned coal mines. The capture and destruction of methane prevents greenhouse gases from being emitted into the atmosphere when a coal mine is abandoned. Methane pre-draining of an open active mine as a methane emission reduction activity, which quantifies greenhouse gas emission reductions, is considered appropriate to provide an approach to determine the amount of Methane that would be released without the project. Despite the environmental gains and the great potential to be explored regarding GHG mitigation through CCS technology, its application in Brazil is still restricted. The main obstacles to CCS projects are the lack of public acceptance, the cost of technology, scientific uncertainty, lack of political and financial incentives, lack of legislation and regulatory frameworks, and long-term civil liability. Also, it was verified in this study that there are few incentives in Brazil's climate policies and there are several related laws and analogous situations for CCS projects. To this end, government involvement must be increased, above all by the fiscal incentive and the dissemination of information among regulatory bodies, to the point of winning the engagement of civil society in the support of the CCS.

Key-Words: Global Warming. Greenhouse Gases. Coal Mining. Carbon Dioxide.

1 INTRODUÇÃO

A partir da Revolução Industrial, o uso intensivo de energia proveniente da queima de combustíveis fósseis e a mudança do uso do solo em larga escala (desmatamento e agropecuária) provocaram um aumento significativo das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), com a concentração de CO₂ passando de 280 ppm (partes por milhão) a 377 ppm, ao longo do século XX. Como consequência, segundo Rockett (2010), as últimas décadas têm sido um período de reflexão sobre as questões ambientais, uma vez que o planeta apresentou significativas mudanças climáticas, com consequência direta nos ecossistemas e nas atividades humanas como um todo.

No panorama internacional, diversos países vêm discutindo ações de mitigação e redução das emissões de GEE e o objetivo principal destas ações compreende a diminuição das consequências atribuídas às mudanças climáticas. Desde a Primeira Conferência Mundial das Nações Unidas sobre o Homem e o Meio Ambiente, ocorrida em junho 1972 em Estocolmo, a poluição ocasionada principalmente pelas indústrias já era tema de preocupação. (REIGOTA, 2006).

O legado dessa Conferência foi o reconhecimento, no âmbito das relações interestatais, da necessidade de um esforço coletivo da comunidade internacional em busca de soluções para os problemas ambientais globais. Assim, a conferência de Estocolmo deu início há mais de três

décadas de discussões, negociações e ratificações de uma série de acordos ambientais internacionais e cria o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi criado, em 1988, com a função de analisar de modo científico, técnico e socioeconômico as informações relevantes sobre as mudanças climáticas. Em seu primeiro relatório, advertiu que, para conter o aquecimento global, seria necessário reduzir as emissões de CO₂ em aproximadamente 60%. Isto porque o CO₂ é o principal gás responsável pela retenção do calor na atmosfera, contribuindo para o seu aquecimento. (SCHEIN, 2006).

Em 1992, ocorreu no Brasil a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, comumente conhecida como Rio 92. Neste evento, foi assinado por quase todos os países do mundo, inclusive os Estados Unidos da América, um tratado que culminou na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) e tornou-se num marco na decisão mundial de enfrentar a ameaça climática global.

Dentro do contexto fornecido por essa Convenção foi elaborado, em 1997, em reunião das Nações Unidas no Japão, o Protocolo de Quioto. Seu objetivo é diminuir a emissão de gases causadores do efeito estufa, sobretudo por meio de compromissos de países desenvolvidos, no sentido

de cortarem suas emissões de acordo com metas quantificáveis. Tais países, responsáveis por 71% da emissão global de CO₂, deveriam reduzir em pouco mais de 5% suas emissões, em níveis inferiores aos existentes no ano de 1990, o que deveria ser implementado no período de 2008 a 2012. (IPCC, 2007)

Mais recentemente, em 2015, durante a COP 21, realizada na cidade de Paris/França, a UNFCCC, com base nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 2014), firmou uma meta global para limitar o aumento do aquecimento do planeta, em no máximo 2°C, em relação aos níveis pré-industriais até o final do século XXI. O Acordo de Paris prevê que para alcançar as metas de redução das emissões de GEE, em pelo menos 50% até 2050, em relação a 1990, os 154 países devem voltar-se à definição e execução de metas nacionalmente designadas, no intuito de contribuir aos esforços globais de redução dos GEEs.

O Brasil, por exemplo, é o quarto maior responsável, a nível mundial, pelo aquecimento global, não somente pela utilização de veículos automotores e indústrias (apenas 25% das emissões brasileiras), mas principalmente pelo desmatamento de grandes áreas de florestas (75% da contribuição às mutações no clima global). Entre 2000 e 2005, o Brasil perdeu mais de 130.000 quilômetros quadrados da floresta amazônica, o que vem agravando a situação da contribuição do país nas mudanças climáticas. (IPCC, 2007)

Contudo, outras atividades de exploração de recursos naturais, como a de mineração, provocam impactos no meio ambiente, tanto no processo produtivo como na geração de resíduos. Segundo CPRM (2002), os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em seis categorias: (i) poluição da água, (ii) poluição do ar, (iii) poluição sonora, (iv) subsidência do terreno, (v) incêndios causados pelo carvão e (vi) rejeitos radioativos. Os recursos minerais são bens esgotáveis, não renováveis, e por esse fato tendem à escassez à medida que se desenvolve a sua exploração.

Apesar da grande variedade de produtos minerais produzidos pela indústria de mineração, o setor emite apenas três gases do efeito estufa (GEE) em quantidades relevantes para a atmosfera: CO₂, CH₄ e N₂O. As emissões desses gases provêm, principalmente, das reações de combustão para a

geração de energia utilizada para processos de beneficiamento físico dos minérios e do transporte interno do produto.

A mineração é um dos setores básicos da economia do país, contribuindo de forma decisiva ao bem estar e a melhoria da qualidade de vida, sendo fundamental para o desenvolvimento, desde que seja operada com responsabilidade social. É importante manter sob controle os impactos que esta atividade provoca no meio ambiente, assim proporcionando longevidade e sustentabilidade ao setor.

Nestes termos, os investimentos em processos mais limpos tornou-se uma opção bastante às empresas e aos empreendedores, pois a aplicação de diretrizes da Mineração de Baixo Carbono tem apresentado ganhos econômicos, além do melhoramento da imagem da companhia diante de seu público consumidor e investidor. O Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima na Mineração, apresentado e citado na Lei 12.187, de 29 de Dezembro de 2009, evidenciou a necessidade do Governo e da sociedade, em especial dos setores econômicos, de conhecerem suas respectivas emissões de GEE.

O Plano apresenta algumas propostas de melhoramento no processo minerário, mas não enfatiza a questão do armazenamento geológico de CO₂. Diante disso, e tendo em vista que as emissões de GEE podem ser evitadas através de uma maior eficiência energética e também pelo armazenamento geológico de CO₂, este artigo tem por objetivo apresentar um breve relato sobre as metodologias de armazenamento geológico de CO₂, no contexto da mineração de baixo carbono.

2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, seguindo os princípios de uma pesquisa exploratória. Corresponde ao levantamento de dados a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e, sobretudo, com material disponibilizado na internet, em sítios oficiais e reconhecidos no meio técnico e acadêmico.

A pesquisa bibliográfica teve como característica a recuperação do conhecimento científico acumulado sobre o problema em estudo, realizado por meio da construção de um referencial teórico com base na literatura pertinente.

O processo de síntese foi realizado através de uma análise descritiva dos estudos selecionados, tendo como critérios de inclusão artigos originais, disponibilizados online, com definição do método, local de estudo e apresentação consistente dos resultados encontrados. O estudo foi realizado por meio da construção de um referencial teórico, com base em artigos científicos localizados através de uma busca sistemática, que é uma forma de síntese das informações disponíveis em dado momento, a procura de estudos realizados de forma ampla pelas autoras por meio de bases digitais de dados.

Figura 1: Panorama das emissões de CO₂ ao longo dos anos.



Fonte: IBRAM, 2013.

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 PLANO SETORIAL DE MITIGAÇÃO E DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA NA MINERAÇÃO

O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação à Mudança do Clima na Mineração (Plano Mineração de Baixo Carbono/MBC) está alinhado à Política Nacional de Mudanças Climáticas, implementada pela Lei Federal Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. É um documento que apresenta subsídios à atuação do poder público e da sociedade no planejamento, implantação e acompanhamento de políticas voltadas à redução da emissão de GEE. (IBRAM, 2013)

Para basear o Plano MBC, foi realizado um inventário, 2008, o qual permitiu concluir que os bens minerais analisados emitiram 8,8 milhões de toneladas de CO₂ e, o equivalente a 0,5% das emissões nacionais. Segundo o IBRAM (2013), apesar de não abranger todo o setor de mineração, e não ter sido analisadas emissões advindas da produção de agregados (areia e brita industrial), fosfato, urânio, potássio e carvão mineral, o Inventário demonstrou um esforço do setor empresarial na busca do conhecimento sobre os processos produtivos e as consequências para o meio ambiente.

As emissões de GEE do setor de mineração devem evoluir de 10,0 Mt de CO₂ e em 2008 para 17,4 Mt de CO₂ e em 2020, e 26,1 Mt de CO₂ e em 2030, tendo em conta os fatores de emissão considerados neste trabalho e a projeção de crescimento da produção por bem mineral, segundo o PNMA 2030.

Para tanto, os objetivos específicos deste Plano são:

- Contribuir para alcançar os compromissos nacionais voluntários no âmbito da Política Nacional sobre Mudança do Clima;
- Fomentar o conhecimento a respeito das emissões de GEE advindas do processo de mineração entre as empresas do setor;
- Promover esforços para transformar as boas práticas de redução de emissões de GEE em um padrão nacional;
- Influenciar e estimular a formulação de políticas de apoio às pequenas empresas de mineração que fomentem a adoção de ações eficientes de adaptação e mitigação de emissões de GEE;
- Integrar o setor mineral às políticas públicas de abrangência nacional relacionadas às mudanças do clima;
- Desenvolver mecanismos que incentivem um maior investimento em PDI e apoio às PME do setor.

O Decreto Federal Nº 7.390/2010, dispõe que o Plano Setorial da Mineração terá vigor até 2020 e deverá ser submetido a revisões em períodos regulares não superiores há dois anos, objetivando readequá-lo às demandas da sociedade e incorporando novas ações e metas, de acordo com a evolução do setor, dos volumes de minério produzidos, das novas descobertas, redimensionamento de jazidas e tecnologias associadas a exploração, lavra e transporte interno.

O Plano MBC prevê oito fatores principais que interferem na emissão de GEE no setor de mineração, a saber: alteração no tipo de minério

extraído, teor (mineral grade), relação estéril/minério (*strip ratio*), maior conhecimento das reservas minerais, distância média de transporte, eficiência energética dos motores, recuperação mássica e produtividade do processo.

Por fim, o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação à Mudança do Clima na Mineração incentiva a introdução de novas tecnologias para redução das emissões dos gases do efeito estufa (GEE). Contudo, dentre essas inovações, não foi possível identificar o armazenamento geológico do CO₂.

3.2 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO DO PROTOCOLO DE QUIOTO

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL¹ é o mecanismo de flexibilização, contemplado no Artigo 12 do Protocolo de Quioto em 1997, viabilizado por meio da cooperação entre os países desenvolvidos (Partes do Anexo I da Convenção-Quadro), os quais assumiram determinadas metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e os países em desenvolvimento (Partes não-Anexo I), os quais não têm compromissos de redução de emissões de GEE. O propósito do MDL é prestar assistência às Partes não-Anexo I do Protocolo, para que viabilizem o desenvolvimento sustentável, através da implementação da respectiva atividade de projeto e contribuam para o propósito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e, bem como prestar assistência às Partes constantes do Anexo I, para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões de GEE.

No Brasil, o MDL é o principal instrumento econômico existente para a promoção de medidas voluntárias de mitigação de emissões de GEE, não controlados pelo Protocolo de Montreal. No âmbito do MDL, como os créditos são gerados nos países em desenvolvimento, que não têm UQAs (unidades de quantidades atribuídas²), aumenta a quantidade total de emissões permitida nas Partes no Anexo I. O total de emissões de gases de efeito estufa no mundo aumentaria se as Reduções Certificadas de

Emissões - RCEs fossem emitidas em quantidade maior do que as reduções reais feitas.

Portanto, o MDL exige que os projetos sigam procedimentos rígidos estabelecidos pelo Conselho Executivo para assegurar que a quantidade de RCEs não seja superestimada. Entre os procedimentos estão uma avaliação das reduções de emissões, que é conduzida por Entidades Operacionais Designadas – EODs, por meio de processos chamados de validação e verificação, uma aprovação final do registro do projeto e a emissão de RCEs pelo Conselho Executivo.

O Protocolo de Quioto requer que a EOD certifique as reduções de emissões, tomando por base: (a) A participação voluntária aprovada por cada Parte envolvida; (b) Os benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima; e (c) As reduções de emissões que sejam adicionais a qualquer redução que ocorreria na ausência da atividade de projeto certificada³. O MDL é o único mecanismo do Protocolo de Quioto no âmbito do qual podem ser gerados créditos a partir do ano 2000, antes do primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto (2008-2012), o que é conhecido como “obtenção de créditos retroativa”.

A linha de base para uma atividade de projeto, no âmbito do MDL, é o cenário que representa de forma razoável as emissões antrópicas por fontes de GEE que ocorreriam na ausência da atividade de projeto proposta. Ela deve cobrir emissões de todos os gases emitidos por setores e fontes que estejam dentro do limite do projeto; e deve ser estabelecida pelos participantes do projeto, de acordo com os procedimentos para uso de metodologia aprovada ou nova metodologia. O estabelecimento da linha de base para uma atividade de projeto é uma das fases cruciais do desenvolvimento de um projeto.

Outro conceito que permeia o MDL é da adicionalidade, a qual é absolutamente fundamental para se entender o que deve ser um projeto de MDL. Conforme o Artigo 12, § 5 do Protocolo, as reduções de emissões resultantes de cada atividade de projeto devem ser adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto. Isto quer dizer que

¹ Clean Development Mechanism - CDM.

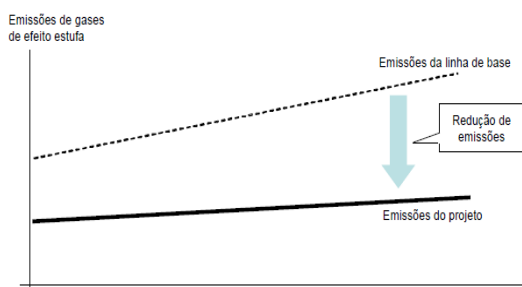
² Créditos equivalentes às quantidades atribuídas iniciais das Partes no Anexo I, calculadas da forma prescrita pelo Protocolo de Quioto. As UQAs são emitidas dentro do

registro nacional de cada Parte no Anexo I antes do primeiro período de compromisso.

³ [Protocolo de Quioto, artigo 12, alínea 5].

um projeto proposto só é considerado adicional se sua implantação estiver vinculada necessariamente ao registro como uma atividade de MDL, ou seja, ao fato de que a atividade de projeto não seria executada sem a expectativa dos seus “créditos de carbono”.

Figura 2: Adicionalidade no projeto de MDL.



Fonte:

https://wbcarbonfinance.org/docs/b_en_cdm_guide_id.pdf

Para ser elegível, qualquer atividade de projeto terá que cumprir os seguintes critérios: reduzir as emissões de GEE, ou promover a remoção de CO₂, de forma adicional ao que ocorreria na ausência da atividade de projeto registrada como MDL; contribuir para os objetivos de desenvolvimento sustentável, definidos pelo país anfitrião; participar voluntariamente do MDL; descontar o aumento de emissões de GEE que ocorrem fora dos limites das atividades de projeto e que sejam mensuráveis e atribuíveis a essas atividades (fugas), levar em consideração a opinião de todos os atores ou *stakeholders* que têm interesse nas atividades de projeto, e que deverão ser consultados a esse respeito; documentar a análise dos impactos ambientais e, caso existam, fazer estudo de impacto ambiental de acordo com os procedimentos da Parte anfitriã; proporcionar benefícios mensuráveis, reais e de longo prazo relacionados com a mitigação dos efeitos negativos da mudança global do clima; estar relacionada aos gases e setores definidos no Anexo A do protocolo ou se referir às atividades de projetos de reflorestamento e florestamento e obter as Cartas de Aprovação (LoA) dos países, referente a cada participante da atividade de projeto.

e biosfera. O ciclo do carbono então, é constituído pelo tempo de residência e pelo fluxo de carbono entre estes reservatórios. Segundo Melo (2012), ao modificar o uso do solo e queimar combustíveis fósseis e biomassa em grandes quantidades, o homem acaba causando o aumento significativo do fluxo de carbono da litosfera e biosfera para a atmosfera.

Neste sentido, sem mecanismos naturais para reverter o fluxo de carbono nas mesmas taxas pelas quais é transferido pelo homem, o carbono acaba sendo concentrado na atmosfera como CO₂, contribuindo significativamente para o efeito estufa. Como forma de amenizar as consequências do efeito estufa, o homem passou a criar mecanismos de compensação do ciclo do carbono de forma a reduzir as emissões de GEE para a atmosfera.

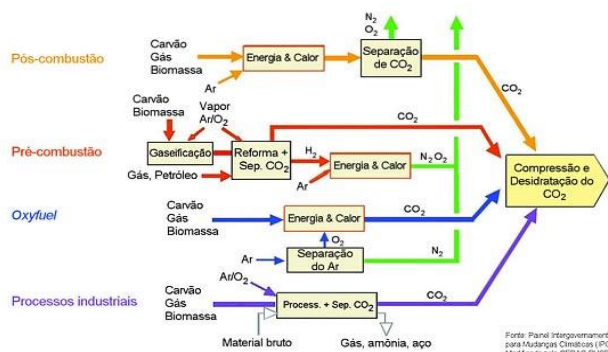
O sequestro de carbono é um dos mecanismos de compensação e uma importante alternativa para a redução das emissões e estabilização da concentração atmosférica dos GEE. Através da captura, transporte e armazenamento geológico do CO₂ busca-se o princípio de devolver o carbono ao subsolo, em uma perspectiva de desenvolvimento sustentável. (MELO, 2012)

Estudos comprovam que as formações geológicas possuem um grande potencial para armazenar gases por milhões de anos, além de que, o armazenamento de gases e líquidos em reservatórios geológicos já vem acontecendo há décadas pela indústria de petróleo em muitos países.

Este processo de armazenamento geológico de carbono consiste em capturar o CO₂, produzido pela queima de hidrocarbonetos (gás natural, carvão e óleo) antes de chegar na atmosfera, fazendo com que este gás fique armazenado em formações rochosas no solo onde permanecerá indefinidamente. Para tanto, existem 3 etapas que são a captura, o transporte e o armazenamento geológico, onde se pode contar com diversas tecnologias, cada qual com seu grau de maturidade.

3.3 ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DO CARBONO

Existem quatro grandes reservatórios de carbono no planeta que se encontram em equilíbrio dinâmico, quais são: a atmosfera, hidrosfera, litosfera

Figura 3: Processos e Sistemas de Captura de CO₂.


Fonte: http://www.pucrs.br/cepac/index_br.php?p=sequestro_carbono.

A primeira etapa do processo de armazenamento geológico do carbono consiste na captura do CO₂ gerado em fontes estacionárias, a saber: indústrias, refinarias e termelétricas a carvão ou a gás. A captura pode ser feita por diferentes processos, sendo que cada um deles utiliza suas determinadas tecnologias distintas, como: pós-combustão, pré-combustão, oxi-combustão e processos industriais.

Segundo Melo (2012) na pós-combustão e nos processos industriais o CO₂ é extraído dos gases de exaustão através de técnicas de adsorção, absorção, criogenia ou membranas de separação. No processo de pré-combustão o carbono é extraído do combustível antes de sua queima, sendo produzido o gás de síntese, composto por hidrogênio e monóxido de carbono, o qual é reagido com água para a transformação do monóxido (CO) e dióxido de carbono (CO₂). E por fim, a oxi-combustão, que consiste na queima do combustível com alto teor de oxigênio ao invés de ar, obtendo CO₂ praticamente puro como gás de exaustão.

Após o processo de captura do CO₂, o mesmo necessita ser comprimido e transportado até o local onde será injetado em formações geológicas apropriadas. O transporte de CO₂ pode ser realizado através de “carbodutos” ou eventualmente em navios tanque.

De forma segura, conforme Melo (2012), o armazenamento geológico do CO₂ pode ser feito principalmente em três tipos de reservatórios: campos de petróleo, aquíferos salinos e camadas de carvão. Os campos de petróleo são conjuntos de

reservatórios geológicos em uma mesma região que abrigam óleo e/ou gás natural, os quais ficaram aprisionados naturalmente por milhões de anos.

Figura 4: Processo de captura e armazenamento de CO₂.


Fonte: <http://www.dicyt.com/noticia/comeca-exploracao-do-subsolo-de-hontomin-para-armazenamento-de-co2>

Os aquíferos salinos consistem em reservatórios de água subterrânea com alta salinidade e que não podem ser utilizados para consumo direto. Finalmente, as camadas de carvão podem aprisionar CO₂ em seus espaços porosos, sendo o armazenamento, sobretudo, realizado em camadas profundas, isto é, camadas cuja exploração convencional não é economicamente viável.

Um dos aspectos mais importantes com relação ao armazenamento geológico do CO₂ é o quesito segurança desta atividade, que está relacionada com a eficiência na retenção do CO₂ da formação geológica escolhida, buscando-se evitar vazamentos para a superfície ou outras unidades geológicas. Por este motivo, segundo Iglesias (2008) a seleção adequada de reservatórios geológicos é fundamental na garantia da segurança no armazenamento.

Modernas técnicas de modelagem numérica, validadas por experimentos em laboratório, permitem prever com detalhes o comportamento do CO₂ injetado e a integridade dos reservatórios geológicos e das estruturas de aço e concreto a serem utilizados para a injeção e armazenamento de CO₂ por milhares de anos. O CO₂ injetado em formações geológicas pode ser precisamente monitorado, medido e verificado periodicamente, através de tecnologias já maduras e disponíveis comercialmente.

3.4 METODOLOGIAS EXISTENTES

3.4.1 UNFCCC

Uma das metodologias para reduzir a quantidade de GEE emitida é através da tecnologia de Captura e Armazenamento Geológico de Carbono (*Carbon Capture and Geological Storage – CGGS*). A ERM/DICYT - A Agência Internacional de Energia – considera que as tecnologias de Captura e Armazenamento de CO₂ podem ser a segunda medida mais eficaz na redução de emissões de CO₂ e na luta contra o aquecimento global, depois da eficiência energética e antes das energias renováveis.

Neste contexto, o Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas - IPCC (2005) define a captura e armazenamento do CO₂ em reservatórios geológicos como um processo que consiste na separação de CO₂, emitido por fontes estacionárias relacionadas com a produção de energia e, também, de plantas industriais, no transporte deste CO₂ e seu armazenamento, a longo prazo, em reservatórios geológicos, isolando-o da atmosfera. É possível separar o CO₂ emitido na queima de combustíveis fósseis, processá-lo para a sua forma líquida e transportá-lo por dutos, rodovias ou por via marítima para reservatórios geológicos como minas desativadas, campos de petróleo ou outros locais onde o CO₂ possa ser armazenado.

A injeção do CO₂ em reservatórios geológicos é um processo que já vem sendo utilizado em alguns setores industriais. Segundo o IPCC (2005), as principais opções para o armazenamento geológico do CO₂ são: a injeção em reservatórios depletados (exauridos) de óleo e gás; o uso do CO₂ para a recuperação avançada de óleo ou gás; a injeção de CO₂ em reservatórios profundos saturados não usados de águas salinas; a injeção em camadas profundas de carvão mineral inexploráveis; o uso do CO₂ na recuperação avançada de metano em jazidas de carvão mineral (ECBM) e, outras opções sugeridas: formações basálticas, xisto betuminoso e cavernas.

Para tanto, a UNFCCC apresenta CDM ACM0008 para Incluir Captura e Destruição de Metano das Minas de Carvão Abandonadas, v 1.0. Essa metodologia quantifica as reduções de emissões geradas pela captação e destruição de

metano de minas de carvão abandonadas/desativadas.

A captura e destruição de metano impede que os GEEs sejam emitidos na atmosfera durante uma vez uma mina de carvão é abandonada. A metodologia quantifica as reduções de emissões de GEE fornecendo uma abordagem para determinar a quantidade de metano que seria liberada sem o projeto.

Esta metodologia é uma revisão da metodologia CDM ACM0008 - Consolidado para metano de carvão metano, metano de carvão metano e ventilação ar metano captura e uso de energia (elétrica ou motriz) e calor e / ou destruição por queima de *flameless* oxidação para incluir abandono/desmantelamento minas.

Já a Revisões ao ACM0008 para Incluir Pré-drenagem de Metano de uma Mina Ativa Aberta como uma Atividade de Redução de Emissão de Metano, v 1.0. Esta metodologia quantifica as reduções de emissões geradas pelo pré-drenagem de metano de uma operação ativa de mineração a céu aberto.

A pré-drenagem impede que o metano seja emitido para a atmosfera durante a mineração e fornece reduções de emissões de GEE. A metodologia quantifica as reduções de emissões de GEE fornecendo uma abordagem para determinar a quantidade de metano que seria liberada sem o projeto.

4 CONCLUSÕES

As tecnologias de captura e armazenamento de CO₂ em reservatórios geológicos, segundo Câmara; Andrade; Rocha, (2011) têm ganhado destaque no âmbito internacional pelas potenciais capacidades de mitigação das emissões de carbono em fontes estacionárias e as pesquisas tecnológicas envolvendo estas metodologias estão avançado em um ritmo acelerado nos países desenvolvidos. No caso do Brasil, o governo não vem demonstrando apoio de forma contundente para a pesquisa e desenvolvimento das tecnologias de captura e armazenamento geológico do CO₂, ficando as reais possibilidades de atuação no setor, a cargo da iniciativa privada, que por sua vez, conta apenas com os investimentos da Petrobrás e da indústria de exploração do carvão mineral.

Segundo Melo (2012), as tecnologias necessárias para o sequestro geológico de carbono em grande escala são conhecidas mundialmente, porém ainda necessitam ser demonstradas em escala comercial. Uma das principais barreiras para sua implementação associa-se aos elevados custos de captura que se relacionam com o alto consumo e energia necessária para a separação do dióxido de carbono dos demais gases de exaustão. Com relação ao armazenamento geológico, um dos grandes desafios existentes é a implementação de uma infraestrutura para a injeção de CO₂ nos reservatórios.

Alguns exemplos de atores internacionais que merecem destaque na implementação desta metodologia são: o projeto Weyburn, que é uma operação conjunta entre Estados Unidos e Canadá, onde o CO₂ é separado de uma termelétrica a carvão em Dakota do Norte nos EUA e transportado por 300 km por dutos até o Canadá onde é injetado no campo de Weyburn, para recuperação avançada de petróleo combinado com armazenamento geológico; o projeto Sleipner, operado por uma petrolífera norueguesa, que tem como objetivo armazenar CO₂ em aquífero salino profundo situado a 900 m abaixo do leito do Mar do Norte; o projeto In Salah, na Argélia, também merece destaque pois é um dos poucos situado em um país não desenvolvido, e que consiste na separação de CO₂ do gás natural e sua injeção na mesma formação geológica, um aquífero salino situado a 2 km de profundidade abaixo da superfície do deserto do Sahara. (CÂMARA; ANDRADE; ROCHA, 2011)

No Brasil, a injeção de CO₂ vem sendo realizada pela Petrobrás desde 1987 nos campos de petróleo na Bacia do Recôncavo na Bahia para a recuperação avançada de petróleo. A empresa, em parceria com outras instituições internacionais e universidades brasileiras vêm desenvolvendo outros projetos de pesquisa em escala piloto referente ao armazenamento geológico de CO₂ em campos de petróleo, aquíferos salinos e em camadas de carvão.

Estudos de viabilidade específica das áreas a serem consideradas nos projetos de armazenamento geológico do carbono são necessárias, tendo em vista principalmente os ganhos sociais e ambientais da implantação desta metodologia para a redução de GEE na atmosfera e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Outras questões referentes à compreensão da comunidade e a aceitação da

tecnologia precisam ser abordadas para uma ampla utilização desta metodologia.

5 REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei 12.187, de 29 de Dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm

_____. **Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010.** Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm

CÂMARA, G.; ANDRADE, J. C.; ROCHA, Paulo. **Tecnologia de Armazenamento Geológico de Dióxido de Carbono: Panorama Mundial e Situação Brasileira.** Revista Eletrônica Sistemas & Gestão. 2011.v.6. n.3. a.2. pp. 238-253.

CPRM - **Serviço Geológico do Brasil. Relatório Anual 2002.** Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Informacao-Publica/Relatorios-Anuais/Relatorio-Anual---2002-119.html>

IBRAM, 2013 - **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação à Mudança do Clima na Mineração Plano de Mineração de Baixa Emissão de Carbono (Plano MBC).** Disponível em <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006220.pdf>

IGLESIAS, R.S. **Química e Sequestro Geológico de Carbono.** CEPAC/PUCRS, 2008. Disponível em <http://www.pucrs.br/cepac/download/SemanaAcademicaQuimica.pdf>

IPCC, 2007: **Summary for Policymakers.** In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers.** Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf

MELO, C. L. **Técnicas de Monitoramento para Armazenamento Geológico de CO₂**. CEPAC/PUCRS, 2012.

REIGOTA, M. **O que é educação ambiental**. São Paulo: Brasiliense, 2006. Coleção primeiros passos. 62p.

ROCKETT, G. C. **Associação de fontes emissoras e reservatórios potenciais para armazenamento geológico de CO₂ na Bacia de Campos, Brasil**. Dissertação. PUCRS, Porto Alegre, 2010. Disponível em http://tede.pucrs.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3041

SCHEIN, E. **Organizational Culture and Leadership**. 2006.



V CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL
CRICIÚMA - SC – BRASIL 29 DE MAIO A 01 DE JUNHO DE 2017