

**Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul**  
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E ECONOMIA  
PÓS-GRADUAÇÃO

**TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº05/2009**

**NOVAS TECNOLOGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: ANÁLISE  
ECONÔMICA DO ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> EM JAZIDAS DE  
CARVÃO COMO ALTERNATIVA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA**

**Leticia Hoppe  
Augusto Mussi Alvim  
João Marcelo Medina Ketzer  
Osmar Tomaz de Souza**

**Porto Alegre  
2009**

**Campus Central**  
Av. Ipiranga, 6681 – P. 50 – CEP: 90619-900  
Fone: (51) 3320-3688 – Fax (51) 3320-3624  
E-mail: ppge@puocs.br  
www.puocs.br

**NOVAS TECNOLOGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: ANÁLISE  
ECONÔMICA DO ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> EM JAZIDAS DE  
CARVÃO COMO ALTERNATIVA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA**

*Letícia Hoppe  
Augusto Mussi Alvim  
João Marcelo Medina Ketzer  
Osmar Tomaz de Souza*

**Resumo:** O presente trabalho tem por objetivo contribuir na exploração de novas alternativas geradoras de energia que contribuam para o desenvolvimento de forma sustentável e ainda identificar a viabilidade econômica de sua execução. Dessa forma aliam-se duas preocupações: a garantia no suprimento energético com o uso sustentável de recursos naturais e a redução na emissão de gases de efeito estufa, um dos responsáveis pela elevação da temperatura de Terra. Sendo assim, elencou-se para o estudo o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> em camadas de carvão, pois essa se apresenta como promissora alternativa no combate ao aquecimento global, além de ainda vir a permitir a modernização tecnológica no seu local de implementação, concomitantemente com a qualificação de mão-de-obra local e do entorno com a geração de diversos empregos diretos e indiretos.

**Palavras Chave:** Desenvolvimento sustentável, Energia, Armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> e Novas tecnologias.

# 1 INTRODUÇÃO

Diante do atual cenário mundial, que sinaliza a urgência na utilização de novas tecnologias capazes de reduzir emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)<sup>1</sup>, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável, observa-se com isso o fortalecimento do processo de mudança no uso dos recursos naturais, na orientação dos investimentos, nas decisões de ordem política e na reformulação das instituições públicas.

A preocupação com a redução de emissões de GEE ocorre porque estes são considerados os principais causadores do aquecimento global e, portanto gerarem externalidades negativas que vem a comprometer a disponibilidade dos recursos naturais e o equilíbrio de todo o eco-sistema. A exemplo disso existe uma série de estudos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) que descrevem a importância de buscar novas tecnologias que diminuam as emissões de GEE, dentre eles o CO<sub>2</sub><sup>2</sup>, considerado um dos principais causadores do efeito estufa.

Dentre esses estudos, no ano de 2005, o IPCC emitiu relatório intitulado: Dióxido de Carbono - Captura e Armazenamento, apresentando o processo de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> como uma das novas tecnologias com maior potencial de redução de emissões sendo portanto, uma forma alternativa para reduzir o efeito sobre as variações na temperatura da Terra.

O processo de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> pode ser realizado em reservatórios de gás e óleo, aquíferos salinos profundos e em camadas de carvão. Dessa forma, propõe-se a realização de estudo que identifique as potencialidades de implementação de projeto ECBM-CO<sub>2</sub> (Enhanced Coal Bed Methane with CO<sub>2</sub>) no estado do Rio Grande do Sul, identificando no Estado, os locais com maior potencialidade para o mesmo.

Em meio às alternativas apresentadas para o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, foi selecionado o armazenamento em camadas de carvão, processo esse denominado de Enhanced Coal Bed Methane Recovery with CO<sub>2</sub> (ECBM-CO<sub>2</sub>), visto que permite durante seu ciclo a produção de gás natural (CH<sub>4</sub>), contribuindo dessa forma para a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, bem como na geração de energia mais limpa.

Essa prática ainda não está contemplada no Protocolo de Quioto como um mecanismo de desenvolvimento limpo, portanto não é passível de obtenção de Créditos de Carbono, pelo menos não nesse seu primeiro período de vigência (2008-2012). Apesar de não ser contemplado como um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) tem sido pauta de discussões nas últimas reuniões da Conferência das Partes da Organização das Nações Unidas (COP), o que indica um cenário positivo a esta nova tecnologia.

Vislumbrando-se a necessidade cada vez mais intensa de alternativas tecnológicas que reduzam as emissões de GEE em um prazo de tempo cada vez mais curto, o armazenamento geológico aparece como alternativa, como destacado anteriormente, com grande capacidade de seqüestro de CO<sub>2</sub><sup>3</sup>, acreditando-se inclusive que esta venha a ser contemplada em futuras versões ou reavaliações, no Protocolo de Quioto, e conseqüentemente venha a ser passível de obtenção de Créditos de Carbono.

---

<sup>1</sup> GEE: eles são compostos por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), os halo carbonos - bromo, cloro, flúor e iodo, o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>).

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>: um dos gases de efeito estufa.

<sup>3</sup> A capacidade estimada, a nível mundial dos reservatórios para jazidas de carvão é de 10 a 100 bilhões de toneladas de Carbono

## 2 A PERSPECTIVA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

### 2.1 Sustentabilidade na Perspectiva Econômica, Ambiental, Social, Geográfica e Cultural

A idéia de sustentabilidade, segundo Harte (1995) está ligada à persistência de certas características indispensáveis e desejáveis das pessoas, comunidades, organizações e dos ecossistemas que as envolvem. Assim, para atingir o progresso técnico em direção a sustentabilidade, deve-se alcançar concomitantemente o bem estar humano e dos ecossistemas.

Desse modo, seguem as perspectivas da sustentabilidade na área Econômica, Social, Ambiental, Geográfica e Cultural de forma complementar ao entendimento interdisciplinar da sustentabilidade, como escreveu Sachs (1986, p. 37): “Considerando a sustentabilidade como um conceito dinâmico que engloba um processo de mudança, o desenvolvimento sustentável apresenta cinco dimensões”.

A Sustentabilidade na perspectiva Econômica, segundo Daly (1992) indica que a teoria econômica deve atender a 3 objetivos: alocação, distribuição e escala, ou seja, alocação e distribuição eficiente dos recursos naturais dentro de uma escala apropriada, deixando claro a necessidade de suplantarem os modelos tradicionais, que medem crescimento e desempenho da economia, por indicadores que incorporem a variável ambiental. A expansão do modelo de mensuração pode emitir sinais de alarme imprescindíveis para reorientar a direção econômica rumo ao crescimento sustentável.

Sobre a perspectiva Social, Sachs (1986) refere-se a um processo de desenvolvimento que leve a um crescimento estável, com distribuição equitativa de renda, gerando com isso, a diminuição das atuais diferenças entre os diversos níveis na sociedade e a melhoria das condições de vida das populações.

Na perspectiva Ambiental, Rutherford (1997) indica que a principal preocupação é relativa aos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente, indicando a redução na utilização de combustíveis fósseis, a diminuição das emissões de substâncias poluentes, adoção de políticas de conservação de energia e de recursos, substituindo recursos não-renováveis por renováveis, aumentando eficiência em relação aos recursos utilizados. Esta perspectiva pode ser agregada a Geográfica e a Cultural, pois relaciona o caminho da modernização sem o rompimento da identidade cultural dentro de contextos espaciais específicos, alcançando o progresso em direção a sustentabilidade, sendo esta uma escolha da sociedade, das organizações, das comunidades e dos indivíduos.

### 2.2 Desenvolvimento Sustentável: Perspectiva Teórica

O conceito de desenvolvimento sustentável, como abordado anteriormente, visa à alocação de forma eficiente dos recursos, pois dada a conceituação da teoria econômica, os bens são escassos e as necessidades humanas ilimitadas. Logo é preciso encontrar uma maneira mais eficiente de alocar estes recursos com a preocupação de garantir às gerações futuras a continuidade de seu uso respeitando as restrições orçamentárias.

Na teoria econômica no que trata da economia do meio ambiente identifica-se duas principais correntes: Economia Ecológica e Economia Ambiental.

#### ECONOMIA ECOLÓGICA:

A corrente da Economia Ecológica vê a economia como um subsistema que lhe impõe uma restrição absoluta, não havendo como realizar a perfeita substitutibilidade dos fatores, já que capital e recursos naturais são insumos complementares. Os economistas que compõem esta corrente concordam que o progresso científico é fundamental para aumentar a eficiência

na utilização dos recursos e nesse sentido admite que é possível instituir mecanismos de fomento ao aumento desta eficiência, mas não acreditam na possibilidade da substituição de recursos naturais por capital/trabalho. Esta visão da economia ecológica é referida através do conceito de *Sustentabilidade Forte*.

O problema central, no que tange a discussão da economia ecológica, conforme Almeida (1998) reside na sustentabilidade das relações entre o sistema econômico - eficiência alocativa dos recursos naturais - capacidade de suporte do meio ambiente, funcionando de forma combinada.

A economia ecológica, associada às características dos recursos naturais, identifica que há enormes limites efetivos e lógicos à substituição dos recursos naturais com o progresso técnico. Para esta corrente, “a substitutibilidade existente é entre os recursos exauríveis e os renováveis” (DALY, 1992, p. 18).

Para os economistas ecológicos, os limites do crescimento são reais, devido à escassez dos recursos naturais e a capacidade de suporte do meio ambiente, sendo estes pouco prováveis de serem superados pelo progresso tecnológico. Para Turner (1994) e Harte (1995) alguns serviços do ecossistema são indispensáveis para a sobrevivência humana e não são substituíveis.

#### ECONOMIA AMBIENTAL:

A corrente neoclássica considera que os recursos naturais não representam, a longo prazo, um limite à expansão da economia, pois inicialmente a função de produção<sup>4</sup> contava apenas com dois insumos: capital e trabalho. Posteriormente foram adicionados aos cálculos da função de produção os recursos naturais, mas tinha-se como condição a perfeita substitutibilidade entre capital, trabalho e os recursos naturais.

Este pressuposto da perfeita substitutibilidade dos insumos assume que exista o progresso técnico, condição a qual permite a longo prazo superar os limites ou escassez dos recursos naturais, pois esse avanço tecnológico permite a substituição dos recursos naturais por capital/trabalho.

A corrente da Economia Ambiental é conhecida como Sustentabilidade Fraca, em suma, porque “tudo se passa como se o sistema econômico fosse capaz de se mover suavemente de uma base de recursos para outra, à medida que cada uma é esgotada, sendo o progresso científico e tecnológico a variável chave para garantir que esse processo de substituição não limite o crescimento econômico a longo prazo” (ROMEIRO, 2001, p. 7).

Para tanto, Solow (1974) propôs no seu modelo, conhecido como “critério de Solow”, a restrição de que a função consumo seja constante ou crescente no longo prazo. No entanto esta restrição influencia na mensuração da utilidade, dado o consumo constante, mantém-se também a utilidade constante.

“A função consumo constante, está associada à outra condicionante: um estoque de capital constante, ou seja, para a manutenção de uma utilidade não declinante, requer-se um reinvestimento das rendas provenientes do uso dos recursos naturais em capital reproduzível.” (PEARCE; ATKINSON, 1995, p. 167).

Conforme Nobre e Amazonas (2002, p. 132),

Desse modo, uma forma de conceituação de sustentabilidade pela economia neoclássica está em propor que o elemento a ser mantido constante para ser transmitido para as gerações futuras seja o total de capital. Esta conceituação, que entende a sustentabilidade

---

<sup>4</sup> Função de Produção: relaciona a quantidade dos insumos necessários para a produção de determinado bem. Esta proporção, inicialmente era entre capital e trabalho necessários, por exemplo  $Y = 2K + 3L$ , onde esta função identifica que para produzir Y preciso de 2 unidades de K (capital) e 3 unidades de L (trabalho).

como a utilidade constante dada por um consumo constante e este por um capital total constante, é denominado de sustentabilidade fraca, pois a manutenção do capital constante ocorre através da substitutibilidade entre recursos naturais, capital e trabalho.

Nesse ínterim, o mecanismo de preços é indispensável, pois na medida em que um recurso natural torna-se escasso e seu preço se eleva, possibilita a utilização de um substituto. Aliada com a eficiência produtiva e a tecnologia, torna-se possível superar as limitações que impedem o crescimento econômico, devido a escassez dos recursos.

Entre as duas correntes, torna-se evidente que “[...] assim, enquanto a economia ambiental neoclássica se orienta pelo princípio da escassez, a economia ecológica se orienta pela exauribilidade da natureza” (KAPPEL, 1994, p. 58 apud NOBRE; AMAZONAS, 2002).

Juntamente com este debate entre as diferentes correntes da economia, no que tange a questão ambiental, tem-se também as questões que cercam o Protocolo de Quioto, pois este busca não apenas as substituições de recursos naturais estejam ou não escassos, mas uma maior eficiência tecnológica nos processos através de implementação de tecnologias mais limpas para que reduzam as emissões dos GEE. Acredita-se, assim, que uma melhora nos processos e uma melhor alocação dos recursos existentes, de forma geral, consigam atingir o desenvolvimento sustentável, logo, se enquadrando na vertente da Economia Ambiental.

Assim como no debate acadêmico, o debate em nível mundial acerca do Protocolo de Quioto, existem pesquisadores que não acreditam na sua eficácia, estando pautados na linha da Economia Ecológica, justificando não existir a perfeita substitutibilidade entre recursos naturais e tecnológicos. Acreditam que diversos esforços e recursos vêm sendo despendidos por uma causa que não irá solucionar os problemas emergentes, que é o de incentivar o desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

Os que acreditam na eficácia do Protocolo de Quioto, o vêem como uma oportunidade de modernizar processos produtivos altamente poluentes e ineficientes, contribuindo assim para o verdadeiro desenvolvimento sustentável. Para tanto, torna-se necessário à adoção de instrumentos que permitam concretizar as ações em prol do meio ambiente, tanto de forma direta como de forma indireta. Logo, foram implementados os Instrumentos Econômicos, no intuito de contribuir para a eficácia dessas ações, os quais serão abordados na seção seguinte.

### **3. O PROTOCOLO DE QUIOTO E A PERSPECTIVA DE INCLUSÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS**

O Protocolo de Quioto está em pleno exercício de suas atribuições, as quais consistem prioritariamente na redução das emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis emitidos no ano de 1990 pelos países que o assinaram, os quais estão relacionados no Anexo I, Para tanto, esses países tendo como primeiro prazo para o cumprimento das metas o período de 2008-2012. Contudo, já está sendo discutido na Conferência das Partes (COP)<sup>5</sup> a prorrogação por mais 4 anos do Protocolo de Quioto, e com metas de emissões passando por reavaliações, no intuito de serem elevadas gradativamente até o ano de 2050 para 50% das emissões no ano de 1990.

Para atender estes propósitos, a COP conta com a colaboração não somente dos países do Anexo I (que tem a obrigatoriedade de redução de emissões), mas dos países Não Anexo I (países

---

<sup>5</sup> A Conferência das Partes é o evento anual da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima durante o qual se tomam decisões ministeriais sobre procedimentos a serem adotados pelos países partes da Convenção e do Protocolo de Quioto.

em desenvolvimento que não têm a obrigatoriedade de redução ), que atualmente são os maiores implementadores de MDL, sendo responsáveis pela redução de emissões de mais de 500 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> até o mês de junho de 2008.

Da implantação de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, obtêm-se a Certificação de Redução de Emissões - Créditos de Carbono. O processo de geração de Créditos de Carbono se dá a partir da implementação de processos que adotam novas tecnologias ou redesenhos da produção, a fim de reduzir as emissões dos gases de efeito estufa a proporções menores que as geradas sem a sua utilização. Sendo assim, esta atividade acaba por gerar Créditos de Carbono que podem ser comercializados.

A regulamentação do mercado de carbono funciona sob *a judice* do Protocolo de Quioto e funciona através da comercialização de certificados de emissões de GEE na bolsa de valores e fundos de investimentos. Para tanto, foram criados os mecanismos para a sua implementação e funcionamento, os quais de acordo com o Guide to the Clean Development Mechanisms - CDM (2003) se dividem em:

- a) Implementação Conjunta
- b) Comércio de Emissões restritas aos países do Anexo I
- c) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (disponíveis para os países não Anexo I)

No Brasil, conforme dados do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT-2008), 62 projetos já estão recebendo Créditos de carbono pela implementação de MDL - responsáveis pela redução de 6 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, e pela entrada de US\$ 60 milhões com a venda de créditos.

Dentre os projetos apresentados no Brasil ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2008), 60% do total está relacionado com a melhoria no processo de geração de energia, tanto na forma de geração desta energia “limpa” como no seu uso mais eficiente.

Considerando o conceito de desenvolvimento sustentável apontado por Reis, Fadigas e Carvalho (2005) no que tange a geração de energia limpa, para que o mesmo seja alcançado, estes devem seguir determinadas linhas de referência básica, as quais identificam que deva ocorrer uma redução no consumo de combustíveis fósseis através do aumento da eficiência do setor energético - desde a geração até o consumo.

Além disso, inclui-se também, mudanças em todo o setor produtivo, no que tange o aumento da eficiência no uso dos materiais e recursos naturais, bem como o desenvolvimento tecnológico no setor energético com vistas a ampliar as alternativas ambientalmente sustentáveis e incentivo ao uso de combustíveis menos poluentes.

Com este objetivo, alternativas vislumbrando a redução de emissões de CO<sub>2</sub> e a geração de energia limpa para o desenvolvimento sustentável, Sokolow (2007) identificou o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> como uma promissora alternativa para este fim.

Sendo assim, o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, que será tratado com mais detalhe na seção seguinte, pode ser realizado em aquíferos salinos profundos, reservatórios já depletados de óleo e gás e em camadas de carvão.

Dentre estas possibilidades, realizar-se-á um estudo mais detalhado sobre o armazenamento geológico em camadas de carvão, a fim de que quando do término do processo seja possível não somente o armazenamento do CO<sub>2</sub>, mas também a extração de gás natural. Este processo é denominado de ECBM-CO<sub>2</sub> (Enhanced Coal Bed Methane Recovery with CO<sub>2</sub>).

### 3.1 DIÓXIDO DE CARBONO: ASPECTOS TÉCNICOS E ÍNDICES DE EMISSÃO

Sendo o CO<sub>2</sub> o ator principal do processo que será estudado-ECBM-CO<sub>2</sub>, iniciar-se-á com uma breve descrição de suas características, envolvendo seus aspectos técnicos.

Historicamente, a crescente industrialização mundial acarretou na elevação da demanda por combustíveis fósseis, os quais ao serem queimados, como por exemplo, o carvão, petróleo e gás, liberam dióxido de carbono, colaborando assim, para a elevação da concentração de GEE na atmosfera. Têm-se como consenso entre os cientistas do IPCC, que esse aumento da concentração de CO<sub>2</sub> é, parcialmente, responsável pelo aumento na temperatura global.

No que tange a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, verifica-se que durante a fase que antecedeu o período da revolução industrial, os níveis de emissões de CO<sub>2</sub> eram de 280<sup>6</sup> ppm, ao passo que logo após a Revolução Industrial os níveis de emissões foram se elevando. Sendo assim, alguns pesquisadores do IPCC (2001), identificam que não se pode permitir que sua concentração atmosférica atinja 550 ppm, pois há o risco de uma retro alimentação do ciclo do carbono, adicionando ainda mais CO<sub>2</sub> à atmosfera, tornando-se o aquecimento global “irreversível”.

Segundo Sokolow (2007), para se atingir um patamar de emissões anuais que assegure que a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico não ultrapasse os 550 ppm, destacando que atualmente estamos com 379 ppm, um novo padrão de conduta do ser humano frente à natureza e aos recursos naturais devem ser adotados. Seus estudos, indicam que as tecnologias para a estabilização das emissões atmosféricas devem ser implementadas imediatamente, para que se obtenham os resultados necessários dentro de 50 anos.

Diante desse cenário, buscam-se alternativas que tentem reduzir as emissões destes gases causadores do efeito estufa e uma maneira de reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada na atmosfera é contar com fontes de energia alternativa que produzam quantidades reduzidas de CO<sub>2</sub> com relação os gerados na queima dos combustíveis fósseis.

Dentre essas alternativas incluem-se energia hidrelétrica, eólica, nuclear, geotermal e das marés. Cada uma delas tem limitações e será difícil fazer uma mudança rápida dos combustíveis fósseis para essas outras fontes no período de 50 anos, tal como apresentado em Bianchini (2006). Contudo, novas tecnologias para a retirada do CO<sub>2</sub> gerado que seria emitido para a atmosfera vem sendo estudadas, e dentre elas destaca-se o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>.

#### 3.1.1 PROCESSO DE ARMAZENAMENTO DE CO<sub>2</sub>

O armazenamento geológico de carbono é a prática de injetar CO<sub>2</sub> em formações geológicas previamente selecionadas, capazes de retê-lo por milhares ou até mesmo milhões de anos; isolando-o assim da atmosfera onde atua como GEE.

Assim sendo, o armazenamento geológico está baseado no princípio de devolver o carbono para o subsolo, isto é, retornar o excesso de carbono (na forma de CO<sub>2</sub>) emitido pela queima de combustíveis fósseis para reservatórios geológicos, ficando este retido nos espaços porosos de rochas sedimentares. Existem como podem ser observados na Figura 1, principalmente três reservatórios geológicos que podem estocar com segurança grandes quantidades de dióxido de carbono e impedir seu retorno para a atmosfera: (1) campos de

---

<sup>6</sup> Ppm: partes por milhão por volume de dióxido de carbono.



petróleo maduros ou *depletados* (cuja exploração<sup>7</sup> já foi finalizada), (2) aquíferos salinos profundos e (3) camadas de carvão (KETZER, 2005).

O armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> como alternativa de mitigação das mudanças climáticas foi primeiramente proposto na década de 70, porém pouca pesquisa foi realizada até os anos 90, quando a idéia adquiriu credibilidade graças ao trabalho de indivíduos e grupos de pesquisa em conjunto com o IPCC.

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas- IPCC (2006), no seu estudo sobre Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub>, considera esta atividade capaz de realizar uma mitigação da emissão de CO<sub>2</sub> em nível mundial entre 220 e 2.200 Gt CO<sub>2</sub> ,no cálculo mais otimista, cumulativamente. Isto corresponde entre 15 e 55% dos gases emitidos até 2100 considerando a estabilização atmosférica entre 450 e 750 ppms. Sendo assim o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> é apresentado como uma opção promissora no que trata da redução de emissões de GEE para a atmosfera.

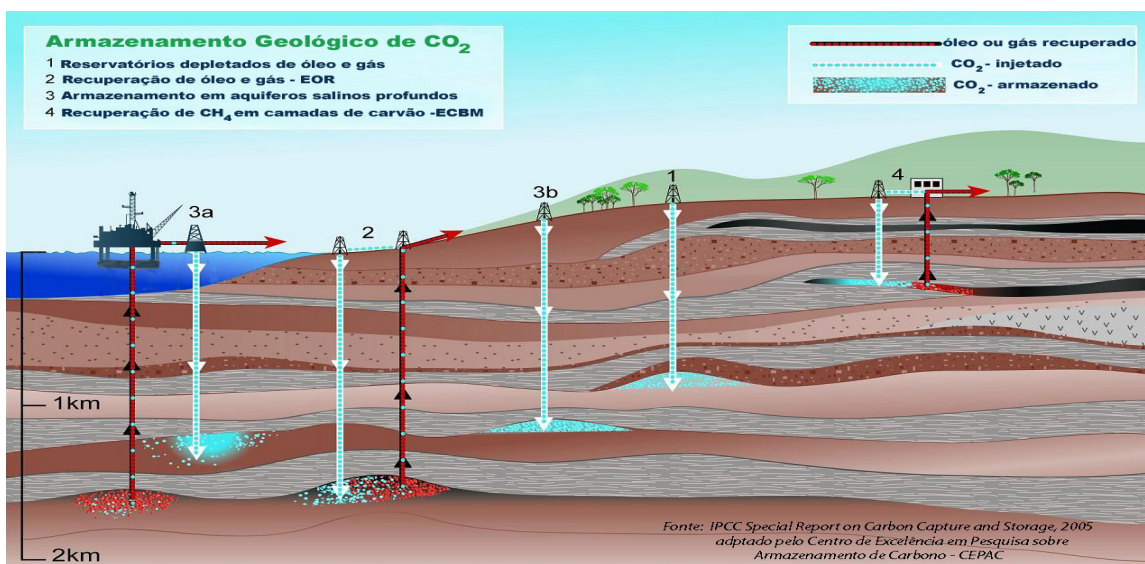


Figura 1 - Esquema de opções de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>

Fonte: IPCC (2005)

O processo conhecido como CCGS (Carbon Capture Geological Storage) Captura e armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, para ser bem sucedido, conforme descrito por Ravagnani (2007), devem atender aos requisitos básicos que seguem:

- a) deve ser rentável e competitivo;
- b) fornecer armazenamento estável e seguro a longo prazo;
- c) ser aceitável ambientalmente.

Segundo, Herzog et al. (2000), para o processo de armazenamento geológico de carbono tornar-se prática aplicável, é necessária a aceitação pública (indicando que esta prática é ambientalmente correta e segura) com o objetivo de passar a contar com o apoio de lideranças de instituições privadas e do governo. Essa aceitação é de suma importância para que haja conseqüentemente uma maior divulgação e expansão desta tecnologia, tornando-a uma prática em larga escala e de cunho comercial.

O CCGS obedece a um ciclo de atividades para a sua execução, a qual consiste na captura, transporte e armazenamento e/ou utilização em local ambientalmente aceito, além do

<sup>7</sup> Exploração: extração de recursos naturais em reservatórios geológicos

monitoramento do processo no intuito de verificar se realmente o CO<sub>2</sub> está sendo retirado da atmosfera e sendo armazenado em reservatório apropriado, além de monitorar possíveis vazamentos ao longo da atividade.

### 3.1.2 MÉTODOS PARA CAPTURA, TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE CO<sub>2</sub>

#### Captura de CO<sub>2</sub>

O primeiro passo para a realização do processo de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> consiste na separação dos gases produzidos pela fonte emissora e a captura do CO<sub>2</sub>.

A fim de capturar uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> com o menor custo, sua extração é feita, principalmente, a partir de grandes fontes estacionárias, como refinarias, usinas termelétricas, indústrias petroquímicas, siderúrgicas, dentre outras fontes.

Conforme discutido em Licks (2008) são identificadas algumas tecnologias para a separação e captura de CO<sub>2</sub>, como a absorção (química e física), adsorção (física e química), destilação a baixas temperaturas (criogenia), separação de gás por membranas, mineralização e biomineralização. Logo a que apresenta maior maturidade tecnológica e utilização, é o de absorção química.

#### Métodos e Características de Transporte de CO<sub>2</sub>

Após a separação e captura do gás de exaustão, o CO<sub>2</sub>, de elevada pureza (> 90%), deve ser transportado para o local de injeção e armazenamento. Este transporte, segundo Carbon Capture and Storage in CDM (2007), pode ser realizado a partir de dutos, navios, trens e por caminhões-tanque.

O transporte por dutos é o mais recomendado quando a distância entre a fonte emissora dos gases, a serem separados e capturados, e o local de injeção e armazenamento for pequeno ou médio, ou seja, segundo Sasaki (2004) é recomendado para distâncias de até 100 km entre a fonte emissora e local de armazenamento sem elevação no seu custo de implantação. Dentre as alternativas existentes para o transporte do CO<sub>2</sub>, esta é a mais barata, por utilizar tecnologia já existente (os dutos de transporte são semelhantes aos utilizados nos gasodutos) sem necessidade de liquefazer este mesmo CO<sub>2</sub>, o que acaba por acarretar em um aumento nas despesas com transporte.

O transporte por meio de navios, trens e por caminhões, destaca Sasaki (2004), são indicados nos casos em que a distância entre a fonte emissora e local do armazenamento for superiores a 100 km, contudo para esse tipo de transporte o CO<sub>2</sub> deve ser liquefeito e, o custo de liquefação não pode ser negligenciado, o que encarecerá ainda mais o custo desta modalidade, sem contar com as despesas extras e riscos de vazamentos e acidentes no transporte do mesmo.

## 4 ECBM-CO<sub>2</sub>

O ECBM-CO<sub>2</sub> (Enhanced CoalBed Methane Recovery with CO<sub>2</sub>) consiste na neutralização das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera através de sua injeção em camadas de carvão, e conseqüente produção de gás natural associado. Esse armazenamento é realizado em camadas de carvão aonde os custos para mineração do mesmo não tornaria viável economicamente esta atividade, normalmente em função da elevada profundidade e custos elevados custos de exploração.

O carvão armazenará permanentemente o CO<sub>2</sub> em sua matriz micro porosa por adsorção, desde que não se alterem as condições de pressão e temperatura da camada. Quando o CO<sub>2</sub> é

injetado no carvão, o mesmo é adsorvido como preferência para o metano, que é, portanto, liberado. Esta tecnologia é conhecida como recuperação avançada de metano em camadas de carvão.

O ECBM- $\text{CO}_2$ , para a sua realização, segundo Reeves, Davis e Oudinot (2004) obedece ao seguinte fluxograma, em que cada um destes itens será contemplado nas premissas para cálculos econômico-financeiros, por apresentarem custos de execução.

O diagrama da atividade do ECBM-  $\text{CO}_2$ , assim como do CCGS é constituído por três etapas principais, como citadas anteriormente:

- a) captura;
- b) transporte;
- c) armazenamento do  $\text{CO}_2$ .

Dessa forma, a Figura 2 ilustra a estrutura física necessária para a realização do processo de captura de  $\text{CO}_2$ , de uma fonte estacionária, sendo então realizada a injeção de  $\text{CO}_2$  e posterior extração de Gás Natural.

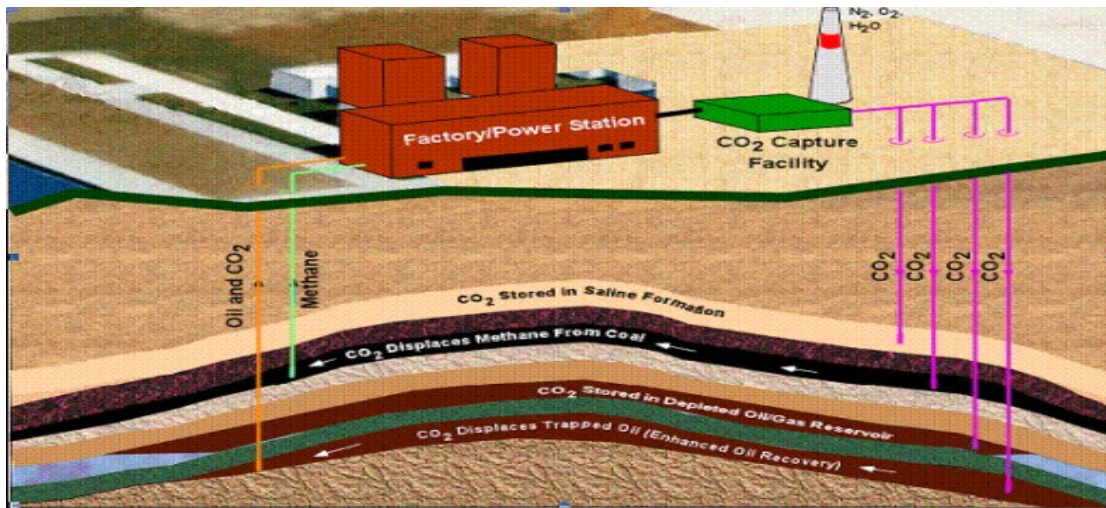


Figura 2 - Estrutura física de uma planta com ECBM tendo como fornecedora de  $\text{CO}_2$  uma fonte estacionária

Fonte: IPCC (2005)

Como pode ser visualizado na Figura 2 são necessários a perfuração de poços, tanto para a injeção do  $\text{CO}_2$  (linhas desenhadas em rosa), bem como a extração de gás (linha no detalhe em verde), além de maquinaria para a separação dos gases e demais equipamentos para a realização da atividade.

Demais pressupostos são imprescindíveis para a realização do processo de ECBM- $\text{CO}_2$ , dado que segundo Wong, Gunter, Law et al. (s.d.) destacam-se os requisitos dos reservatórios geológicos para sua aplicação, os quais são: capacidade e injetividade (porosidade e permeabilidade) adequadas; presença de unidade selante (ou confinante) satisfatória; e localização geológica estável da bacia, para evitar incidentes capazes de comprometer a integridade do armazenamento, como por exemplo, poucas falhas e fraturas, e que estas não estejam em zonas de cisalhamento para garantir que a injeção de  $\text{CO}_2$  não comprometa a integridade do selo (BIANCHINI, 2006).

Sendo assim, têm-se elencadas as premissas básicas para a realização de processo de ECBM- $\text{CO}_2$ , bem como os requisitos a serem analisados quando da escolha da localidade de sua execução.

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

Estudos realizados pelo CARBMAP<sup>8</sup> para a região sul do Brasil, identificaram os locais com potencialidade para a execução do ECBM- CO<sub>2</sub>, os quais estão descritos na Figura 3. A metodologia utilizada pelo CARBMAP (CAPORALE, 2008) que possibilitou a escolha das camadas de carvão como alvo para o presente estudo foram a profundidade da janela de carvão presente numa profundidade maior que 300 metros e distância menor que 300 km das fontes emissoras de CO<sub>2</sub> (APEC Energy Working Group, 2003 apud CEPAC, 2008).

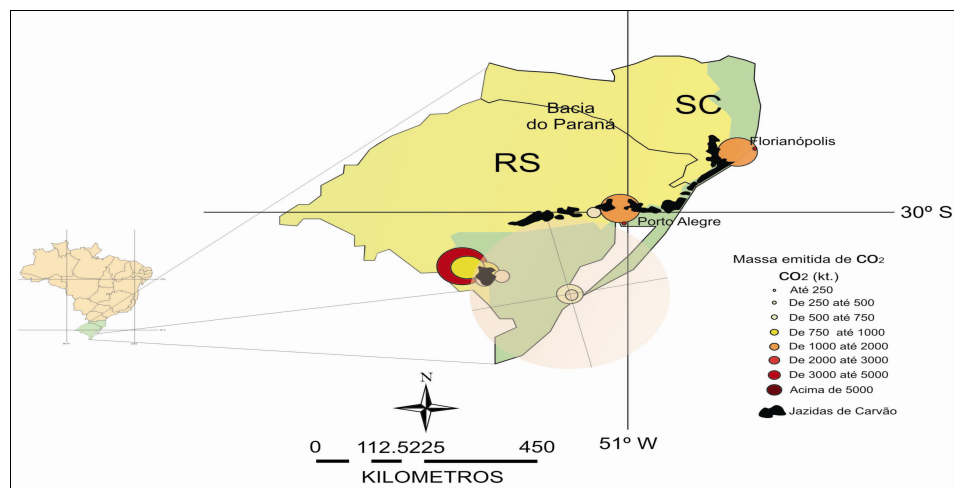


Figura 3 - Mapa de Localização das camadas de carvão associadas às fontes emissoras de CO<sub>2</sub>

Fonte: CEPAC (2008)

Como resultado da capacidade de armazenamento de CO<sub>2</sub> nas jazidas apresentadas, obteve-se o volume efetivo de 221 milhões de toneladas de dióxido de carbono adsorvido nas camadas de carvão presentes nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, indicando um grande potencial para a realização do ECBM na região sul do País (KETZER et al., 2007).

Diante deste cenário apresentado para a região sul do Brasil, no que tange ao mapeamento geológico de jazidas carboníferas, a localidade escolhida para a análise da realização deste processo foi o Estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente o município de Triunfo que possui em seu subsolo a jazida de carvão de Charqueadas. Esta região foi elencada devido à sua característica carbonífera, identificada por Silva (1984) e do mapeamento realizado no Projeto CARBMAP do Centro de Excelência em Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono (CEPAC), e também por abrigar o Pólo Petroquímico de Triunfo (fonte estacionária), que fornecerá o CO<sub>2</sub> necessário ao projeto de ECBM-CO<sub>2</sub>.

A jazida carbonífera de Charqueadas situa-se na região centro-leste do Estado, na porção final da bacia do Rio Jacuí, abrangendo áreas dos municípios de São Jerônimo, Triunfo, Montenegro, Canoas e Guaíba.

O carvão da Jazida de Charqueadas foi analisado por Silva (1984) e identificado como Sub-betuminoso A ou Betuminoso Alto Volátil C (ASTM) e com poder calorífico de 12.700 Btu/lb.

<sup>8</sup> Carbmap é um projeto da PUC/RS cujo objetivo final é a elaboração do Mapa Brasileiro de Seqüestro de Carbono, em fase de conclusão.

Sendo assim a jazida de Charqueadas possui as características, em princípio, apropriadas à realização do ECBM- CO<sub>2</sub>, o qual identifica como requisito básico a classificação do carvão como sub-betuninoso e poder calorífico não inferior a 10.000 Btu/lb.

Outros aspectos fundamentais para a realização de ECBM- CO<sub>2</sub> é a verificação do tempo de armazenamento, que constitui a principal demanda do seqüestro de carbono, ou seja, a garantia de permanência do CO<sub>2</sub> armazenado por determinado período de tempo, a fim de permitir uma rápida adsorção do CO<sub>2</sub> em que o seu ciclo natural é capaz de realizar. Em outras palavras, o homem estaria devolvendo o carbono para o subsolo.

Há um ponto chave que garante, conforme Reeves (2002), que grandes quantidades de CO<sub>2</sub> possam ser armazenadas em formações geológicas por tempo indeterminado: a existência de acumulações naturais de CO<sub>2</sub> em jazidas semelhantes às de gás natural. Bastante explorados nos Estados Unidos desde a década de 70, estes reservatórios possuem, às vezes, milhões de anos de existência sem apresentar qualquer risco de vazamento, reações químicas descontroladas ou quaisquer outros efeitos maléficos ao meio ambiente.

Outro ponto de suma importância que justifica a escolha do local de realização do projeto de ECBM na jazida de Charqueadas é a proximidade entre a fonte estacionária (Pólo Petroquímico de Triunfo) e o local de armazenamento do CO<sub>2</sub>, estes com uma distância de aproximadamente 50 km, a qual permite que o transporte do CO<sub>2</sub> separado seja realizado com custos aceitáveis.

Além disto, este processo pode ser capaz de criar uma nova dinâmica para o desenvolvimento regional através da adoção de novas tecnologias que podem gerar mais renda e emprego na região associada a uma maior preocupação com o meio ambiente.

Contudo, mesmo existindo estudos que identificam a potencialidade e segurança do armazenamento em jazidas de carvão (SILVA, 1984), não se pode abrir mão do Processo de Monitoramento, o qual consiste no acompanhamento com medição permanente do CO<sub>2</sub> armazenado.

Destarte, e tendo conhecimento das premissas que se fazem indispensáveis para a implementação de processo de ECBM-CO<sub>2</sub> na jazida de Charqueadas, conforme destacado ao longo do artigo, será tratado nesta seção final a questão que envolve a importância e funcionalidade da elaboração da viabilidade econômica para qualquer projeto que envolva recursos financeiros. Dessa maneira, e sem a pretensão de esgotar o assunto, foram destacados os principais componentes da elaboração de um modelo de viabilidade econômica.

## **5 ANÁLISE FINANCEIRA**

Na análise da viabilidade econômico-financeira foram utilizadas algumas premissas obtidas através de dados do mercado e de bibliografia especializada, como o Relatório do MIT (2003) e CDM (2007), dentre outros estudos de orçamento e quantificação de materiais, os quais foram dimensionados para a execução na Jazida de Charqueadas. Todavia, esse não pode ser considerado como um projeto fechado, estando sujeito a ajustes e adequações no decorrer de sua execução.

Dado que todos os equipamentos discriminados nas planilhas financeiras são importados e cotados originalmente em dólar americano, estes foram convertidos para a moeda nacional (Real), onde a taxa de câmbio considerada foi de R\$ 2,27 por dólar (Banco Central do Brasil, 17/11/2008).

Sendo assim procedido, tem-se o investimento total do Projeto na ordem de R\$ 132.000.000,00, e neste caso, considerando a origem de seu aporte capital como próprio, ou seja,

da empresa executora do projeto. O fluxo de caixa projetado foi para o período de 15 anos, sendo este adotado em função dos prazos médios usuais para análise de projetos com perfil semelhante ao presente, considerado como industrial.

## 5.1 RECEITAS E DESPESAS

As receitas advindas deste projeto serão provenientes da venda do gás natural, gerado no final do processo de ECBM-CO<sub>2</sub>, e da venda de Créditos de Carbono. No entanto, o valor que se considera para a análise de resultados é o valor obtido da Receita Líquida. Para a obtenção do valor da Receita Líquida do Projeto de ECBM-CO<sub>2</sub> na jazida de Charqueadas, foram adotadas as seguintes premissas:

a) **Receitas Operacionais:** São as receitas geradas no início das atividades operacionais do processo. No presente estudo as receitas auferidas são advindas da produção e comercialização de gás e da obtenção de créditos de carbono, esta última está sendo considerada devido a potencialidade de este projeto vir a integrar os mecanismos de flexibilização.

As receitas advindas da produção de gás começarão a ser geradas, a princípio, no início do primeiro semestre do quarto ano do início das atividades, visto que o tempo de maturação do processo até que seja extraído o gás, em média é 12 meses após início de injeção de CO<sub>2</sub>, segundo Agrawal (2007).

As receitas advindas da injeção de CO<sub>2</sub>, e com isto a obtenção de créditos de carbono se inicia no primeiro semestre do terceiro ano, quando a infra-estrutura necessária para a realização da mesma já estará finalizada. Não obstante, no cenário em que é considerada a obtenção de Créditos de Carbono, não se pode deixar de destacar que devido ao chamado pênalti de geração de GEE da extração de gás natural deve-se deduzir o mesmo, que foi considerado neste trabalho no valor de 30%<sup>9</sup> do valor total injetado de CO<sub>2</sub>, a partir do momento em que o processo de extração de gás se inicia, podendo ser visualizado na Tabela 1:

Tabela 1 - Projeção da evolução das receitas

CRESCIMENTO RECEITAS			1 Sem./	2 Sem./	1 Sem./	2 Sem./			
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 3	Ano 4	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
Produção Gás	-	-	-	-	80%	80%	90%	100%	100%
Créditos de Carbono	-	-	100%	100%	70%	70%	70%	70%	70%

b) **Deduções da Receita Bruta:** as deduções da Receita Bruta para o presente projeto representam o somatório dos tributos incidentes da comercialização direta dos produtos, notadamente ICMS, PIS e COFINS. Utilizou-se a alíquota média de 15% para o ICMS e de 3,65% para PIS/COFINS. Os tributos que compõem as deduções da Receita Bruta incidem diretamente sobre esta.

c) **Despesas Operacionais:** também consideradas como administrativas, foram projetadas mediante dados de bibliografia (CDM, 2007), que consideram apenas o monitoramento, este no valor de 2% sobre o valor dos equipamentos. O valor total de máquinas e equipamentos totaliza R\$ 23.330.180,00, nesse sentido, estes valores foram calculados à medida que os equipamentos foram adquiridos ao longo da implantação do projeto.

<sup>9</sup> O valor de desconto de 30% foi obtido através do cálculo que determina que para cada unidade de volume de CH<sub>4</sub>, são liberadas ¼ desse valor em CO<sub>2</sub> após sua conversão em massa.

d) **Imposto de Renda e Contribuição Social:** incidentes sobre a operação do projeto, foram calculados com base na tributação do Lucro Presumido, sendo aplicado 8% sobre a Receita Bruta, incidindo sobre esta base as alíquotas de 9% para CSLL, 15% para IR acrescidos de 10% sobre o valor da base que exceder R\$ 240.000,00 /ano.

e) **Re Investimentos em Ativo Permanente:** além das despesas de implantação já apresentadas, foram projetados nessa análise, um investimento anual equivalente à despesa de depreciação, como forma de anular o efeito à capacidade produtiva, preservando a capacidade instalada do período de projeção.

Outro vetor de suma importância no cálculo dos resultados financeiros de um projeto é o valor a ser adotado para a Taxa de Desconto. A taxa de desconto correta é um dos principais determinantes na avaliação dos resultados de viabilidade. Para tanto, de acordo com Ravagnani (2007), assumiu-se uma taxa de desconto de 12%, pois esta reflete o custo de oportunidade de investir neste projeto, dado que o Banco Mundial utiliza taxas de desconto entre 8% e 12 % para empréstimos á países em desenvolvimento.

## 5.2 INDICADORES ECONÔMICOS

Para efeitos de conclusão desta análise, foram selecionados os indicadores comumente utilizados em estudos de viabilidade econômico-financeiros. São eles, de acordo com Casarotto Filho e Kopittke (2000):

**VPL - Valor Presente Líquido:** utilizado para determinar o valor presente de uma série de recebimentos descontados a uma determinada taxa de desconto (TMA).

**TIR - Taxa Interna de Retorno:** é a taxa que iguala os valores das entradas (Fluxo de Caixa Livre) ao das saídas, ou seja, que iguala os Fluxos de Caixa Livres da Empresa à zero. Ela é calculada para comparação com a Taxa Mínima de Atratividade utilizada (Taxa de Desconto). Sempre que a  $TIR > TMA$ , o projeto é economicamente viável.

**Pay-Back Simples:** representa, na forma de “período de tempo”, quando o valor investido no projeto retornará para o investidor.

**Pay-Back Descontado:** mesmo conceito do indicador anterior, porém, neste caso, é considerada a Taxa de Desconto dos Fluxos de Caixa do Projeto.

## 5.3 PREMISSAS DA CRIAÇÃO DOS CENÁRIOS

Com base na evolução de preços brasileiros do  $m^3$  do gás natural destinado à indústria, segundo dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2008), adotou-se para o cenário base, o valor de R\$ 0,75 o metro cúbico do gás, preço vigente em novembro de 2008 para os consumidores deste setor, os quais demandam mais de 200 mil metros cúbicos de gás/dia.

Neste cenário base, foram simulados os valores para os indicadores econômicos em dois momentos: com a obtenção dos Créditos de Carbono e sem a obtenção dos créditos.

Concomitantemente, foram criados cenários alternativos, em que se realizou projeções de elevação dos preços do gás, baseados nos dados obtidos na ANP, em que para os últimos 6 anos a variação média anual foi de 16%.

Dessa forma utiliza-se uma taxa de variação conservadora, visto que esta atividade pode ser vislumbrada sob a ótica da segurança energética, pois o gás que é consumido no Pólo Petroquímico é advindo da Bolívia, além de questões que recentemente fizeram parte de uma realidade preocupante, o rompimento do gasoduto RS/SC que paralisou temporariamente o abastecimento de gás no estado do RS, causando prejuízos aos mais variados setores produtivos e

prestadores de serviço. Sendo assim o valor final do gás no cenário 06 foi de R\$ 1,58 o metro cúbico.

Utilizar-se-á no que tange a produção de gás, o pressuposto de que este será constante até o final do projeto a partir do momento em que atingir sua capacidade de 100%, sendo essa produção anual em torno de 126.249.840,00m<sup>3</sup>. Tal premissa será adotada no intuito de facilitar os cálculos, dado que a curva de produção de gás por injeção de CO<sub>2</sub> na jazida de Charqueadas não foi elaborada. Nestes cenários alternativos, também se utilizou a análise em que é considerada a obtenção dos Créditos de Carbono como uma segunda fonte de receita.

Embasado nas informações do *European Climate Exchange*, o valor do Crédito de Carbono por tonelada empregado foi de R\$ 53,29, publicado no jornal Valor Econômico, datado em 28/10/2008.

As principais variáveis analisadas foram o descritivo físico, indicando o custo do investimento, a remuneração do gás natural destinado à indústria e o valor dos Créditos de Carbono. No que tange aos Créditos de Carbono, uma importante ressalva precisa ser feita, em relação ao Protocolo de Quioto. A primeira fase do Protocolo (2008-2012) não prevê a obtenção de Créditos de Carbono à atividade de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, no entanto, este assunto vem sendo pauta de discussões nas reuniões da Conferência das Partes, com o objetivo de permitir que tal atividade seja passível de obtenção de Créditos, já que pode vir a ser a responsável pela mitigação, a nível mundial, de 20% do total de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera, segundo IPCC (2005).

A modelagem construída inclui seis cenários distintos descritos no Tabela 3, sendo que para cada um deles será simulada a Receita Bruta com e sem a obtenção dos Créditos de Carbono. Os valores calculados, nas projeções, como destacado anteriormente, foram realizados com base nos dados da ANP, que verificou um aumento médio anual de 16% entre os anos de 2002 e 2007 nos preços do gás natural destinado à indústria.

Dessa maneira, realizou-se a criação de 06 cenários, utilizando para tanto a variação dos preços do gás, com objetivo de identificar à partir de que momento e de qual preço do mesmo o projeto se tornaria economicamente viável. Sendo assim, foram gerados os primeiros resultados, que estão compilados na Tabela 2.

Tabela 2 – Cenários

<i>Cenários</i>	<i>Preço m<sup>3</sup> Gás R\$</i>	<i>Preço do Crédito de Carbono – R\$</i>	<i>Receita Anual sem Créditos - R\$</i>	<i>Receita Anual com Créditos - R\$</i>
<i>Cenário 1</i>	0.75	53.29	94.687.380.00	96.241.796.01
<i>Cenário 2</i>	0.87	53.29	109.837.360.80	111.391.776.81
<i>Cenário 3</i>	1.08	53.29	136.349.827.20.	137.904.243.21
<i>Cenário 4</i>	1.17	53.29	147.797.152.69	149.351.568.70
<i>Cenário 5</i>	1.36	53.29	171.444.697.12	172.999.113.13
<i>Cenário 6</i>	1.58	53.29	198.875.848.66	200.430.264.67

De posse destes primeiros resultados, elaborou-se o cálculo dos indicadores econômicos, sendo que entre as variações de preço dos cenários 01 a 04, os indicadores encontrados mostraram que o projeto se apresenta como economicamente inviável. Logo, foram então



disponibilizados para análise, somente os resultados encontrados para o Cenário 01 (cenário base), o Cenário 03 (valor médio das variações do preço do gás) e os resultados dos Cenários 05 e 06. Tal artifício foi utilizado visto que, no cenário 05 o projeto apresenta resultados que indicam que o projeto é economicamente viável, porém somente quando considerada a obtenção dos créditos de carbono. Contudo, no intuito de buscar a viabilidade econômica do projeto sem contar com a obtenção dos créditos de carbono, elencaram-se os resultados do cenário 06, dado que tal atividade ainda não é contemplada dentre os mecanismos de flexibilização via Protocolo de Quioto, não sendo, portanto, passível de obtenção destes créditos.

Dados estes pressupostos, foram obtidos os seguintes Indicadores Econômicos, conforme descrito na Tabela 3;

Tabela 3 - Resultados dos indicadores econômicos por cenário

<i>Indicadores Econômicos</i>	<i>Taxa Desconto</i>	<i>Pay-Back Simples</i>	<i>Pay-Back Descontado</i>	<i>VPL</i>	<i>TIR</i>
<i>Cenário 1 com créditos</i>	12%	9.51	38	-107.796.061,00	2%
<i>Cenário 1 sem créditos</i>	12%	21.63	73.58	-167.382.006,00	-5%
<i>Cenário 3 com créditos</i>	12%	8.76	16.51	-13.282.920,00	10%
<i>Cenário 3 sem créditos</i>	12%	10.84	25.49	-72.868.860,00	6%
<i>Cenário 5 com créditos</i>	12%	7.38	11.04	55.453.910,00	16%
<i>Cenário 5 sem créditos</i>	12%	8.58	15.42	-4.132.036,00	11%
<i>Cenário 6 com créditos</i>	12%	6.5	8.64	129.918.809,00	21%
<i>Cenário 6 sem créditos</i>	12%	7.29	10.57	70.332.863,00	17%

No gráfico 1 evidencia-se a importância da obtenção destes Créditos, tanto no aumento das receitas como no resultado do Valor Presente Líquido (VPL).

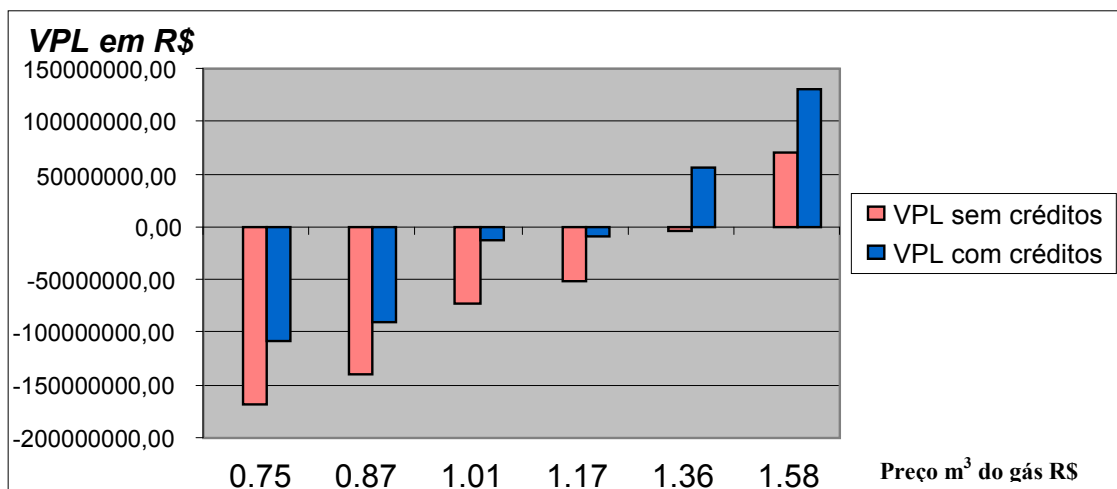


Gráfico 1 - Valor Presente Líquido da atividade nos cenários de 01 a 06 com e sem a obtenção de Créditos de Carbono.

Diante destas informações em conjunto com a análise dos indicadores econômicos gerados e apresentados para quatro dos Seis Cenários elencados, é possível vislumbrar que mesmo considerando um aumento de 16% de um cenário para outro no preço do gás, esta atividade

somente se torna economicamente viável no Cenário 05 com a obtenção dos Créditos de Carbono.

Buscando identificar o valor do metro cúbico do gás natural que tornaria o Projeto ECBM para a Jazida de Charqueadas economicamente viável, sem considerar a obtenção de créditos de carbono, obteve-se o valor de R\$ 1,58. Adotando, portanto este valor, que corresponde ao Cenário 6, foi possível encontrar a viabilidade econômica do projeto sem a presença da receita adicional gerada pelo Crédito de Carbono, tal que o VPL apresentou valor de R\$ 129.918.808,52 com Créditos de Carbono e R\$ 70.332.863,09 sem a obtenção dos mesmos, e uma TIR de 21% e 17% respectivamente, o que torna, portanto o projeto economicamente viável em ambos os casos.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:**

Diante das perspectivas na implantação de tecnologias que reduzam as emissões de gases de efeito estufa, o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> aparece como uma promissora alternativa no combate ao aquecimento global.

Sendo assim, diante das diversas possibilidades de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, optou-se por realizar estudo de viabilidade econômica para a modalidade em camadas de carvão, por existir a produção de gás natural associada ao processo.

Logo a localidade elencada para a execução de projeto de ECBM-CO<sub>2</sub>, devido às características carboníferas, foi a Jazida de Charqueadas, que também abriga sobre suas proximidades o Pólo Petroquímico de Triunfo, que será a fornecedora do CO<sub>2</sub> a ser utilizado no processo.

Diante disso, o cenário elencado como base do estudo, em que foram utilizados os valores de mercado vigentes para o preço do gás natural, R\$ 0,75 o metro cúbico, e do crédito de carbono, R\$ 53,29, a atividade de ECBM-CO<sub>2</sub> apresentou-se como economicamente inviável, em vista dos resultados obtidos para os indicadores econômicos.

No intuito de encontrar valores para o preço do gás que tornassem o processo de ECBM-CO<sub>2</sub> viável, foram criados cinco cenários alternativos, em que as variações nos preços obedeceram as alterações ocorridas nos últimos anos.

Ao projetar os aumentos no valor do gás, obtiveram-se resultados para os indicadores econômicos que indicaram a viabilidade econômica do projeto somente no momento em que este atingiu o valor de R\$ 1,36 o metro cúbico de gás, destacando que este resultado positivo é apenas no cenário em que é considerada a obtenção dos Créditos de carbono.

Como a atividade de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> ainda não é contemplada nos Mecanismos de Flexibilização, os quais permitem a obtenção de Créditos de carbono, buscou-se a projeção de mais uma alteração no preço do metro cúbico do gás, com o objetivo de tornar o projeto economicamente viável sem contar com a aquisição destes créditos.

Dessa forma, utilizando o valor de R\$ 1,58 o metro cúbico do gás, foram obtidos resultados que demonstraram a viabilidade econômica da atividade sem a aquisição dos Créditos de carbono.

Estes resultados indicam, portanto, que para esta atividade sob o ponto de vista econômico-financeiro se tornar atrativo para investimentos é imprescindível a elevação do preço do metro cúbico do gás, visto que os resultados obtidos utilizando o preço de mercado não indicam atratividade para o investimento.

No entanto podem vir a ser considerado em futuras simulações, o emprego de políticas públicas que subsidiem tal atividade. Visto que a realização de um projeto dessa grandeza pode

se tornar uma oportunidade para desenvolvimento tecnológico do estado do Rio Grande do Sul, além da geração de inúmeros empregos diretos e indiretos criando assim, uma nova dinâmica econômica para o município de execução do projeto, bem como nos municípios localizados nos arredores.

Outro ponto de suma importância deve ser destacado, dado que um empreendimento dessa magnitude, o qual será necessário o aporte de R\$132.000.000, virá a contribuir com a geração de receita aos cofres públicos através do ICMS, PIS/COFINS e IR/CSLL, na ordem de 25 milhões de Reais por ano, quando da sua capacidade efetiva de funcionamento, ou seja, a produção anual de 126.249.840 m<sup>3</sup> de gás, que deva ser atingida no primeiro semestre do ano 06.

Tem-se também como horizonte positivo da implementação do processo de ECBM-CO<sub>2</sub> a geração de energia mais limpa, a qual é fundamental na garantia da independência energética local, concomitantemente com a redução da dependência do gás natural, que é importado da Bolívia.

Destaca-se ainda que no Estado do Rio Grande do Sul, existem outros locais com potencial para a realização desta atividade, como por exemplo, as jazidas carboníferas de Morungava, Chico Lomã e Santa Terezinha.

Destarte, o projeto ECBM-CO<sub>2</sub> para a Jazida de Charqueadas deve ser tratado não somente do ponto de vista econômico, mas também levando em consideração a importância da questão da diversificação da matriz energética, visto que a expectativa para o ano 2050 da demanda de energia à nível mundial é de dobrar, este projeto ganha relevo, tornando-se uma forma de garantir as gerações futuras uma fonte alternativa de energia que contribua simultaneamente para a redução de emissões de gases de efeito estufa.

### **REFERÊNCIAS:**

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E PETRÓLEO (ANP). **Análise de preços**. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/petro/analise\\_precos.asp](http://www.anp.gov.br/petro/analise_precos.asp)>. Acesso em: nov. 2008.

AGRAWAL, Angeni. **The economic feasibility of enhanced coalbed methane recovery using CO<sub>2</sub> sequestration in the San Juan Basin**. Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for degree of Master of Science. May 2007.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Cambio e capitais estrangeiros**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?TXCAMBIO>>. Acesso em: 17 nov. 2008.

BIANCHINI, Rafael Valdetaro. **O Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> como Opção de Mitigação das Mudanças Climáticas**. Trabalho de conclusão (Graduação) – curso de Engenharia Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos**. 9.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

CDM - CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. **Guide to the Clean Development Mechanism**: putting the marrakech accords into practice. New York, Geneva: United Nations, 2003.

CEPAC - CENTRO DE EXCELÊNCIA EM PESQUISA SOBRE ARMAZENAMENTO DE CARBONO. **Camadas de carvão brasileiras e capacidade para armazenamento de CO<sub>2</sub> para redução das emissões de gases de efeito-estufa**. XI Mostra da Graduação da PUCRS. Porto Alegre, 2008.

COPERGAS. **Preço e tarifas do gás para o setor industrial em 12 de dezembro de 2008**. Disponível em: <<http://www.copergas.com.br/site/ctudo-conteudo.asp?idsecao=38>>. Acesso em: set. 2008.

DALY, H.E. Allocation, distribution, and scale: towards an economics that is efficient, just and sustainable. **Ecological Economics**, n.6, 1992.

HARTE, M. J. Ecology, Sustainability and environment as capital. **Ecological Economics**, n. 15, 1995, p. 157-164.

HERZOG, Howard; GOLOMB, Dan. **Carbon Capture and Storage from Fossil Fuel Use**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2004.

IEA - INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS. **Carvão, Gaseificação, IGCC**. Disponível em: <<http://www.ieav.cta.br/enu/yuji/carvao.php>>. Acesso em: 31 mar. 2008.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Safeguarding the ozone layer and the global climate system**. 2005. Disponível em: <<http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=Qf0MVNcQKmqC&oi=fnd&pg=PP13&dq=IPCC,+2005+Bert+Metz,+Lambert+Kuijpers,+Susan+Solomon&ots=5tJ-y4kQ6p&sig=7yCOe3v9a7Cok-G-KtmJgXlf-AI#PPP1,M1>>. Acesso em: jun. 2008.

JORNAL VALOR ECONÔMICO. Seção de Economia. São Paulo, 28 out. 2008.

KETZER, J. M.; CARPENTIER, B.; GALLO, Y. L.; THIEZ, P. L. Geological Sequestration of CO<sub>2</sub> in Mature Hydrocarbon Fields Basin and Reservoir Numerical Modelling of the Forties Field, North Sea. **Oil & Gas Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 259-273, 2005.

KETZER, João Marcelo; VILLWOCK, Jorge Alberto; CAPORALE, Giancarlo et al. **Opportunities for CO<sub>2</sub> Capture and Geological Storage in Brazil: The CARBMAP Project** May 7-10, Pittsburgh, Pennsylvania: Sheraton Station Square, 2007.

LICKS, Leticia Azambuja dos Santos. **Avaliação do processo de captura de dióxido de carbono por absorção química visando a aplicação em termelétricas a carvão no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais). Porto Alegre, mar. 2008.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Mudanças climáticas**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: out. 2008.

MIT - MASSACHUSSETS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **The Economics of CO<sub>2</sub> Storage**. August 2003. Disponível em: <[http://sequestration.mit.edu/pdf/LFEE\\_2003-003\\_RP.pdf](http://sequestration.mit.edu/pdf/LFEE_2003-003_RP.pdf)>. Acesso em: set. 2008.

NOBRE, Marcos; AMAZONAS, Mauricio de C. **Desenvolvimento Sustentável: a institucionalização de um conceito**. Brasília: IBAMA, 2002.

PEARCE, D. W.; ATKINSON, G. D. Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of weak sustainability. **Ecological Economics**, v.8, p.106, 1995.

RAVAGNANI, Ana Teresa Gaspar. **Modelagem Tecno economica de Sequestro de CO<sub>2</sub> considerando Injeção em Campos Maduros**. Tese (Doutorado) – Unicamp. Campinas, 2007.

REEVES, Scott R. **Assesmet of CO<sub>2</sub> Sequestration and ECBM Potencial of U.S. Coalbeds**. US Department of Energy Topical Report. Mar. 2003.

REIS, L.; FADIGAS, E., CARVALHO, Cláudio. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Manoli, 2005.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. **Economia ou economia política da sustentabilidade?** Campinas, IE/UNICAMP, n. 102, set. 2001. Texto para Discussão.

RUTHEFORD, I. Use of models to link indicators of Sustainable Development. In: MOLDAN, B. BILHARZ, S. (eds.) **Sustainability indicators: report f the project on indicators of sustainable development**. Chichester: John Wiley & Sons, 1997.

SACHS, I. **Eco desenvolvimento: crescer sem destruir**. São Paulo: Vértice, 1986.

SASAKI, K. **Carbon Sequestration Technology: current status and future outlook**. IEEJ Publication, Mar. 2004.

SILVA, Z.R. **Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia-caracterização petrológica e tecnológica das camadas de carvão da jazida de Charqueadas do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 1984.

SOCOLOW, Robert H.; PACALA, Stephen. A Plan to Keep Carbon in Check. **Scientific American**, Sept. 2007.

SULGAS RS. **Preço do Gás – simulador**. Disponível em: <[http://www.sulgas.rs.gov.br/simulador\\_industrial.asp](http://www.sulgas.rs.gov.br/simulador_industrial.asp)>. Acesso em: 12 dez. 2008.

TURNER et al. **Environmental economics: an elementary introduction**. New York: Harvester Wheatsheaf, 1994, 328p.