



## Armazenamento de Dióxido de Carbono em Reservatórios Geológicos: Tecnologia Mais Limpa?

G. Câmara<sup>a</sup>, A. Silva Júnior<sup>b</sup>, P. Rocha<sup>c</sup>, C. Andrade<sup>d</sup>

*a. Universidade Federal da Bahia, Bahia, george@camaraconsultoria.com.br*

*b. Universidade Federal da Bahia, Bahia, antonio.costa@petrobras.com.br*

*c. Universidade Salvador, Bahia, psrocha@petrobras.com.br*

*d. Universidade Federal da Bahia, Bahia, celiosa@ufba.br*

---

### Resumo

As alterações climáticas provenientes do aumento de emissões antrópicas e acúmulo dos Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera constituem-se uma das principais preocupações ambientais mundiais. As análises científicas e discussões quanto ao efeito das emissões antrópicas de GEE e suas consequências nas alterações do clima ganharam notoriedade pública nas últimas décadas. O Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) é um dos principais GEE e diversas tecnologias têm sido desenvolvidas para capturar o CO<sub>2</sub> antes da sua emissão e posterior destino. Algumas soluções tecnológicas têm ganhado força como opção para o destino do CO<sub>2</sub>, dentre elas, o armazenamento do CO<sub>2</sub> em reservatórios geológicos. Este artigo tem como foco principal responder à seguinte questão: Em que medida o Armazenamento do Dióxido de Carbono em Reservatórios Geológicos (CGS) pode ser considerada uma tecnologia mais limpa? Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema, análise documental e consulta a especialistas. Inicialmente, foi revisada a literatura sobre as tecnologias ambientais, assim como, e mais especificamente, a literatura sobre a tecnologia CGS. Posterior a esta revisão, é discutida a tecnologia do CGS, enquanto tecnologia ambiental, concluindo-se que a tecnologia pode ser considerada como de transição. Por ora, entende-se que esta é uma pesquisa exploratória sobre o tema e, devido à tecnologia do CGS, encontra-se em fase de desenvolvimento e, conseqüente, amadurecimento o que implica na necessidade de estudos futuros e contínuos sobre esta tecnologia e seus impactos.

*Palavras-chave:* Tecnologias Ambientais, Armazenamento Geológico de Dióxido de Carbono, CGS, CO<sub>2</sub>.

---

### 1 Introdução

As alterações climáticas provenientes do aumento de emissões antrópicas e acúmulo dos Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera são uma das principais preocupações ambientais mundiais. As estratégias disponíveis de combate a este problema são as ações humanas, como a inação, a adaptação e a mitigação, além de grandes projetos de engenharia planetária.

As análises científicas e discussões quanto ao efeito das emissões antrópicas de GEE e suas consequências nas alterações do clima ganharam notoriedade pública nas últimas décadas. Inicialmente, a atenção dada às questões ambientais tinha como foco temas envolvendo o uso dos recursos naturais disponíveis e o controle

da poluição, mas tendo sempre inserido neste contexto a relação destes agravos ao meio ambiente com a economia. Vários passos já foram dados pela humanidade em direção ao estabelecimento de um sistema de governança de produção, consumo e meio ambiente mais equilibrados. Entretanto, mesmo com todo o esforço dedicado, os reflexos decorrentes das ações antrópicas no meio ambiente são latentes e cada vez mais preocupantes.

Para Lloyd e Subbarao (2009), uma mudança da tradicional economia baseada em combustível fóssil para sistemas energéticos isentos de carbono seria a pedra fundamental de uma economia ambientalmente sustentável. De fato, uma economia da era da informação não pode ser movida por um sistema primitivo da era industrial. Novas e avançadas tecnologias focadas no uso de energia renovável estão sendo desenvolvidas e alterariam as necessidades energéticas. Assim, o progresso de tecnologias dessa natureza tem um papel fundamental em busca da sustentabilidade do processo produtivo e de consumo.

Numa análise mais ampla da atual situação tecnológica quanto à questão do acúmulo de GEE na atmosfera, Pacala e Socolow (2004) afirmam que a humanidade já possui fundamentos científicos, técnicos, industriais e *know-how* para resolver o problema do carbono e do clima para a próxima metade do século 21. Associada a esta diversidade tecnológica, atualmente, encontram-se disponíveis diversas formas de incentivos econômicos para a utilização destas tecnologias em larga escala, podendo ser citados os mercados de créditos de carbono (Regulado e Voluntário) e os fundos de financiamento (Públicos e Privados). Muitas vezes a utilização destas tecnologias, em virtude da necessidade do seu uso, não está vinculada a uma análise mais profunda quanto à essência das mesmas.

### *1.1 Tecnologias de Redução do Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)*

O Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) é um dos principais GEE e tem propriedades físicas específicas. O Programa do Meio Ambiente das Nações Unidas (ONU, 1996) o define como um gás incolor, inodoro, não-venenoso, que resulta da queima de combustíveis fósseis e é normalmente uma parte do ar. No que diz respeito à sua presença na atmosfera, o principal efeito das emissões do CO<sub>2</sub> é a sua permanência e acúmulo na atmosfera que contribui significativamente para o efeito estufa e, conseqüentemente, para o aumento da temperatura global. O CO<sub>2</sub> também pode ser encontrado, armazenado naturalmente em reservatórios geológicos. Além da forma natural, o CO<sub>2</sub> é um subproduto de inúmeros processos industriais, como a produção de cimento, fertilizantes, extração e refino de hidrocarbonetos, geração de energia elétrica por combustíveis fóssil, dentre outros.

Quanto aos processos industriais, muito tem sido feito para o desenvolvimento de tecnologias para a separação do CO<sub>2</sub> de correntes gasosas, emitidas por fontes estacionárias, sendo a etapa mais onerosa e de maior consumo de energia a da captura do CO<sub>2</sub>. As tecnologias de captura do CO<sub>2</sub> podem ser subdivididas em: de pós-combustão, de pré-combustão e combustão com oxigênio. Já quanto ao emprego da tecnologia para a captura do CO<sub>2</sub>, têm-se as tecnologias de: absorção, adsorção, separação por membranas semipermeáveis, separação criogênica e o "looping químico" (BELLO e MUSTAFA, 2010).

Com o uso das tecnologias de captura do CO<sub>2</sub>, é possível evitar a emissão deste gás na atmosfera. Mas, um dos principais pontos em discussão é o que fazer com o CO<sub>2</sub> após sua captura. Algumas soluções tecnológicas têm ganhado força como opção para o destino do CO<sub>2</sub>, dentre elas, o armazenamento em reservatórios geológicos.

Pacala e Socolow (2004) discutem as tecnologias atuais para a solução dos problemas das mudanças climáticas e apresentam as sete (07) cunhas para

Mitigação das Alterações Climáticas. As cunhas estão divididas em dois grandes grupos: o primeiro, de “Redução de CO<sub>2</sub> ou Processos Livre de Emissões de CO<sub>2</sub>”, contendo as seguintes soluções tecnológicas: Eficiência energética; Energias Renováveis; Descarbonização dos Combustíveis Fósseis (carvão/óleo/gás); Hidrogênio e Energia Nuclear. O segundo grupo, com o propósito de “Capturar e Armazenar CO<sub>2</sub>” emitido em processos industriais ou existentes na atmosfera, composto pela Captura e Armazenamento de CO<sub>2</sub> e a Conservação das Florestas.

Entende-se que o estímulo e uso das tecnologias mais limpas proporcionarão a melhoria na questão referente às alterações climáticas e, conseqüentemente, a sustentabilidade. É certo que se tem, como referência em prol da sustentabilidade, os conceitos de produção mais limpa do Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) e Desenvolvimento Industrial das Nações Unidas (UNIDO) e a eco-eficiência do Conselho Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD). Tais conceitos apresentam diferenças sutis, entretanto, ambos convergem mais do que divergem, pois possuem, como objetivos, o incentivo à inovação; o ganho de competitividade; a satisfação das necessidades humanas; a promoção da qualidade de vida e respeito à pegada ecológica suportada pelo planeta Terra.

### 1.2 O Artigo

Este artigo tem como foco principal responder à seguinte questão: Em que medida o Armazenamento do Dióxido de Carbono em Reservatórios Geológicos (CO<sub>2</sub> Geological Storage - CGS) pode ser considerado uma tecnologia mais limpa?

## 2 Metodologia

A metodologia deste trabalho tem como base a pesquisa bibliográfica sobre o tema, análise documental e consulta à especialistas. Inicialmente, foi revisada a literatura sobre as tecnologias ambientais, assim como, e mais especificamente, a literatura sobre a tecnologia CGS. Complementarmente, foi realizada análise de documentos institucionais, como relatórios, estudos, projetos e consultas à especialistas, tais como: pesquisadores acadêmicos, pesquisadores de organizações não governamentais que atuam com as questões climáticas, pesquisadores de empresas e atores-chaves tanto do Governo como da iniciativa privada.

### 2.1 Tecnologias Ambientais

Para Jabbour (2007), as tecnologias ambientais se relacionam com o desenvolvimento de produtos e processos verdes, envolvendo tecnologias que reduzem o consumo de energia, previnem a poluição e reciclam os resíduos. Assim, segundo Gouldson e Murphy (1998), a incorporação de tecnologias ambientais no sistema produtivo vai fazer com que seja necessária a compatibilização entre crescimento econômico e proteção ambiental.

Observa-se uma grande diversidade de nomenclaturas para se reportar às tecnologias ambientais, tanto na literatura nacional como na internacional, havendo, assim, uma pluralidade de termos que se relacionam a consideração de aspectos ambientais no desenvolvimento tecnológico. As tecnologias ambientais seriam o desenvolvimento de *hardwares* ou *softwares* que por meio da adoção de novos conceitos de *design*, equipamentos e procedimentos operacionais, passam a incorporar práticas de melhoria contínua de desempenho ambiental, principalmente por utilizar matérias-primas de baixo impacto ambiental, processá-las de forma eficiente, fomentar o reaproveitamento e o mínimo desperdício de seus produtos finais, alterando um dado ciclo produtivo (JABBOUR, 2010). Jabbour (2010) as classifica em: tecnologias de controle e prevenção da poluição; tecnologias de mensuração e organizacionais, além das tecnologias de impacto ambiental nulo.

Neste artigo, foram adotados os postulados de Lenzi (2006), que são aderentes aos conceitos supracitados de Jabbour (2010), pois define que as tecnologias ambientais são divididas em tecnologias de controle e tecnologias mais limpas. As primeiras possuem foco no tratamento de resíduos (*end of pipe*) e as segundas na prevenção da poluição. Contudo, perante os trabalhos de Kemp, Smith e Becher (2000), além das tecnologias mais limpas e de fim de tubo (*end of pipe*), existe uma terceira que seria a reciclagem, pois esta prática nos processos produtivos apresenta tanto características de tecnologia *end of pipe*, quando se trata de reciclagem externa, quanto de tecnologias mais limpas, quando acontece em modificações integradas de produto e processo.

Para Madruga et al (1999), o aspecto da tecnologia ambiental é preponderante para um quadro de prevenção da poluição, pois, através de tecnologias mais limpas, é possível aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados num processo produtivo. Busca-se, com a prevenção da poluição, a reversão do quadro de tratamento de resíduos através de uma abordagem sistêmica ou holística.

Segundo o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS, 2011), a prevenção da poluição, através de tecnologias mais limpas, busca eliminar a poluição durante o processo de produção e não no final dela. Isso porque todos os resíduos que a empresa gera custaram dinheiro, pois foram comprados a preço de matéria-prima e consumiram insumos como água e energia. Uma vez gerados, continuam a consumir dinheiro, seja sob a forma de gastos de tratamento e armazenamento, seja sob a forma de multas pela falta de cuidados, ou ainda pelos danos à imagem e à reputação da empresa. Para o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL, 2011), a mudança nos paradigmas ambientais induz as empresas a se voltarem para a origem da geração de seus resíduos sólidos, emissões atmosféricas e seus efluentes líquidos, buscando soluções nos seus próprios processos produtivos, minimizando, assim, o emprego de tratamentos convencionais de fim de tubo, muitas vezes onerosos e de resultados não definitivos para os resíduos.

Conforme trabalho de Mello e Nascimento (2002), é importante salientar as diferenças sutis, que muitas vezes na prática são empregadas como sinônimos entre os conceitos de produção mais limpa, produção limpa, prevenção da poluição, tecnologias limpas, tecnologias mais limpas e tecnologias de fim de tubo ou *end of pipe*. Produção mais limpa é um conceito definido pela UNIDO/UNEP que estimula atitudes voluntárias por parte das indústrias, independentemente do alcance da legislação ambiental, e se configura como uma aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva e integrada aos processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a ecoeficiência e reduzir os riscos para o homem e para o meio ambiente. Já a prevenção da poluição é um conceito bastante semelhante à produção mais limpa criado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), pois refere-se a qualquer prática, processo, técnica ou tecnologia que vise à redução ou eliminação em volume, concentração e/ou toxicidade dos resíduos na fonte geradora. Por fim, quanto ao conceito de produção limpa, que foi criado pela organização não governamental ambientalista Greenpeace, este é mais restritivo do que o da produção mais limpa, pois a primeira propõe produtos atóxicos e o uso de fontes de energia renováveis, a produção mais limpa estimula a redução da toxicidade e o uso mais eficiente da energia.

Ainda, segundo Mello e Nascimento (2002), o mesmo acontece com os conceitos de tecnologias mais limpas e tecnologias limpas, pois tecnologias limpas são metas que devem ser perseguidas, mas difíceis de serem atingidas na prática, pois sempre haverá um tipo de impacto ambiental, já as tecnologias mais limpas atuam na prevenção da poluição e causam menor impacto do que outras tecnologias com

as quais está se comparando. Quanto às tecnologias de fim de tubo, ou *end of pipe*, são as tecnologias utilizadas para o tratamento, minimização e inertização de resíduos, efluentes e emissões, ou seja, atuam visando remediar os efeitos da produção depois que a poluição foi gerada no processo produtivo.

Para Kiperstok (2006), as tecnologias de fim de tubo não são capazes de deter o avanço da degradação ambiental, quanto mais de gerar as mudanças requeridas, pois tais tecnologias se aplicam depois da geração dos resíduos, ou seja, não há uma preocupação com a prevenção da poluição, uma vez que são considerados como inevitáveis no processo produtivo. Mello e Nascimento (2002) e Jabbour (2010) afirmam que a prevenção da poluição através de tecnologias mais limpas focam no potencial de ganhos diretos no mesmo processo de produção, e de ganho indireto pela eliminação de custos, associados com o tratamento e a disposição final de resíduos, desde a fonte, ao menor custo e com períodos curtos de amortização do investimento.

As tecnologias mais limpas se caracterizam pela adoção de qualquer medida de mudança ou transformação de métodos utilizados para reduzir, ou melhor, eliminar já na fonte a produção de qualquer tipo de poluição, e, ao mesmo tempo, de racionalizar o uso de recursos naturais ou não. Dessa forma, valoriza-se o conceito dos 3Rs: redução, reutilização e reciclagem, sendo que a disposição da ordem dos 3Rs não é aleatória, pois quanto mais as tecnologias e práticas de produção mais limpa tendam para a redução de emissão de resíduos, mais elas estarão ligadas à redução na fonte, ou seja, serão transformações relevantes na matriz do processo produtivo. Ao passo que, quanto mais essas mesmas práticas atuem no tratamento dos resíduos do processo produtivo, a mesma tenderá a práticas de fim de tubo. (LAGREGA et al, 1994)

Essa afirmação pode ser evidenciada pela Fig. 01, que demonstra os diversos tipos de posicionamento que uma corporação pode adotar para a redução da poluição. Quanto mais o posicionamento tender para o lado direito do quadro, as práticas tenderão a ser de fim de tubo ou *end of pipe*, ao passo que, quanto mais esse mesmo posicionamento estiver tendendo para o lado esquerdo, o processo estará altamente voltado para a redução de resíduos na fonte, colaborando, assim, para a produção e consumo sustentável.



Figura 01 – Técnicas para Redução da Poluição.  
Fonte: Lagrega et al (1994).

No que tange à redução na fonte, a EPA (1988) afirma que o passo inicial é repensar o produto, e esse repensar implica em mudanças no produto, compreendendo sua substituição, conservação ou alterações na sua composição a fim de atender às exigências ambientais. Outra possibilidade, segundo Kiperstok (2002), pode ser mudança no processo através de mudança de insumos, usando

materiais menos tóxicos e mais eficientes ou de tecnologia, tornando o processo mais eficiente através da busca do resíduo zero.

Quando as ações de redução na fonte não são capazes de evitar a geração de resíduos, opta-se então pela reciclagem interna/externa, através de técnicas de uso e reuso quando não se requer modificações no resíduo. O material retorna diretamente ao próprio processo gerador, sendo utilizado como componente ou intermediário na fabricação de um produto (KIPERSTOK, 2002)

## 2.2 A Tecnologia de Armazenamento do CO<sub>2</sub> em Reservatórios Geológicos

A importância da utilização da tecnologia CGS em larga escala para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> é discutida, atualmente, em toda a comunidade internacional. Conforme os estudos feitos pela *Internacional Energy Agency* – IEA, em 2006, com perspectivas e cenários tecnológicos, a adequada captura e armazenagem de CO<sub>2</sub> podem controlar as emissões a curto e médio prazos. O estudo afirma que, dentre as atuais tecnologias existentes ou que sejam susceptíveis a se tornarem comercialmente disponíveis nas próximas duas décadas, o CGS contribui em torno de 20 a 28% do total das reduções de emissões de CO<sub>2</sub>, tendo por base um horizonte até 2050. O G8 (grupo formado pelas oito maiores potências industriais do mundo) decidiu em junho de 2008 que apoiaria as recomendações da IEA e do Fórum de Lideranças em Seqüestro de Carbono (CSFL) para o lançamento de 20 projetos de CGS em grande escala, pois o G8 entende que o CGS tem um papel crítico no combate às mudanças climáticas e aos desafios de segurança energética.

O Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas - IPCC (2005) define a captura e armazenamento do CO<sub>2</sub> em reservatórios geológicos como um processo que consiste na separação de CO<sub>2</sub>, emitido por fontes estacionárias, relacionadas com a produção de energia, e também de plantas industriais, o transporte deste CO<sub>2</sub> e seu armazenamento, a longo prazo, em reservatórios geológicos, isolando-o da atmosfera. É possível separar o CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> possa ser armazenado.

A injeção do CO<sub>2</sub> em reservatórios geológicos é um processo que já vem sendo feito em alguns setores industriais. Na indústria petrolífera, existem tecnologias para a recuperação avançada de óleo ou de gás (EOR/EGR) que utilizam algumas substâncias como fluidos de injeção, dentre elas o CO<sub>2</sub>. Segundo o IPCC (2005), as principais opções para o armazenamento geológico do CO<sub>2</sub> são: a injeção em reservatórios depletados (exauridos) de óleo e gás; o uso do CO<sub>2</sub> para a recuperação avançada de óleo ou gás; a injeção de CO<sub>2</sub> em reservatórios profundos saturados não usados de águas salinas; a injeção em camadas profundas de carvão mineral inexploráveis; o uso do CO<sub>2</sub> na recuperação avançada de metano em jazidas de carvão mineral (ECBM), e; outras opções sugeridas: formações basálticas, xisto betuminoso e cavernas.

## 3 Resultados e Discussões

Numa análise conceitual inicial da tecnologia do CGS, vinculada a sua aplicação somente para o armazenamento geológico do CO<sub>2</sub> oriundo de processos industriais, emitidos por fontes estacionárias, ela deve ser considerada como uma tecnologia de fim de tubo (*end of pipe*). Haja vista que conceitualmente as tecnologias de fim de tubo (*end of pipe*) preconizam estratégias de controle, visando remediar os efeitos da poluição gerada nos processos produtivos. Para tanto, deve-se considerar o CO<sub>2</sub> como um resíduo industrial e o seu armazenamento em reservatórios geológicos tendo como objetivo evitar e controlar sua emissão.

Em contraponto a esta afirmação, tem-se o uso do CO<sub>2</sub>, como insumo, para a recuperação avançada de petróleo ou gás. Nesta situação, a tecnologia de CGS deve ser considerada em outra classificação. Principalmente, se a obtenção do CO<sub>2</sub> não for originária de processos industriais e sim de fontes naturais como os reservatórios geológicos de CO<sub>2</sub> localizados nos EUA.

Os projetos de recuperação avançada de petróleo nos EUA têm suas localizações apresentadas na Fig. 02. Destaca-se que na figura estão representadas as localizações das fontes de emissões industriais, assim como as fontes naturais de CO<sub>2</sub> que servem como insumo para a EOR. Além disso, toda a rede de dutos construída para atender os projetos de EOR e também as fontes naturais de CO<sub>2</sub> que ainda não foram exploradas.

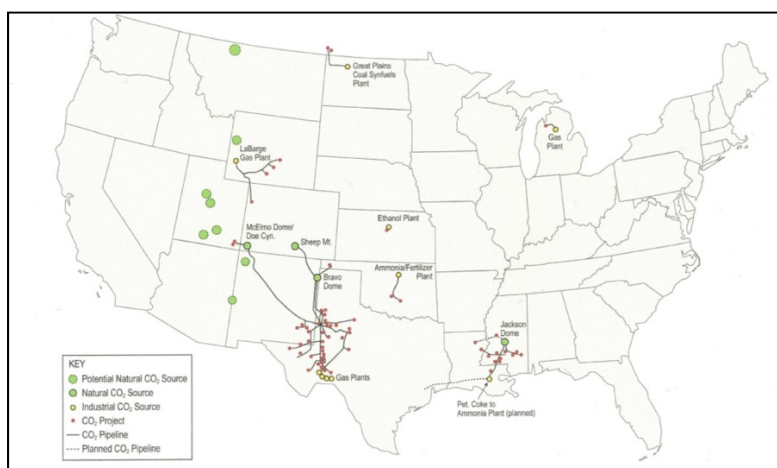


Figura 02 – Localização nos EUA dos projetos correntes de EOR com CO<sub>2</sub> e dutovias.  
Fonte: National Energy Technology Laboratory (NETL, 2010).

Segundo Mohan et al, em 2008 existiam 80 projetos de CO<sub>2</sub> ativos nos EUA, com uma produção total diária de 234.000 barris de petróleo. A produção potencial total de petróleo com EOR/CO<sub>2</sub> é de aproximadamente 19 bilhões de barris. Muitos destes projetos estavam em execução por causa dos preços do petróleo em 2008, o que tornava os projetos economicamente viáveis, entretanto, eram limitados pela disponibilidade de CO<sub>2</sub>. Se ocorresse o aumento do fornecimento do CO<sub>2</sub>, oriundo de fontes naturais e de fontes industriais estacionárias, a preços entre US\$ 1 e US\$ 3 por milhão de pés cúbicos (ft<sup>3</sup>) de gás, mais de 200 projetos de EOR/CO<sub>2</sub> poderiam ser implantados, atingindo uma produção incremental de 12 milhões de barris por dia. Ao mesmo tempo, esses projetos proporcionariam a oportunidade para armazenar cerca de 5 bilhões de Pés Cúbicos de CO<sub>2</sub> por dia. Em 25 anos, isso resultaria na produção de mais de 5,5 bilhões de barris de petróleo e de cerca de 30 trilhões de pés cúbicos de CO<sub>2</sub> armazenados em reservatórios geológicos.

O CO<sub>2</sub> também é encontrado misturado com os hidrocarbonetos. Com isso, nos processos de exploração e produção de petróleo e gás natural, normalmente, o CO<sub>2</sub> é ventilado para a atmosfera. Devido às descobertas das jazidas de hidrocarbonetos no litoral brasileiro, esta é uma fonte de emissões de CO<sub>2</sub> que merece destaque. Vale ressaltar que a diretriz adotada pela Petrobras para a exploração da camada do Pré-sal brasileiro foi a de não ventilar o CO<sub>2</sub> associado ao gás natural produzido<sup>1</sup>. De forma geral, o CO<sub>2</sub> tem presença de 8 a 12% no hidrocarboneto encontrado nos campos do Cluster do Pré-sal (ALMEIDA et al, 2010). Este percentual é considerado significativo em comparação com a composição de outros hidrocarbonetos.

<sup>1</sup> Apresentação realizada pela Petrobras (Beatriz Nassur Espinosa - Gerente Geral/SMS) para a Comissão Mista Permanente Sobre Mudanças Climáticas do Senado Federal em 10/11/2009.

Segundo Almeida et al (2010), as seguintes opções estão sendo avaliadas tecnicamente e economicamente para o aproveitamento e uso do CO<sub>2</sub> contido no hidrocarboneto do Pré-sal: EOR nos reservatórios do Pré-sal; armazenamento de CO<sub>2</sub> em aquíferos salinos; EOR em campos de óleo pesado na Bacia de Santos; o armazenamento de CO<sub>2</sub> em campos de gás exauridos; o armazenamento de CO<sub>2</sub> em cavernas de sal a serem construídas na área do cluster; transporte de CO<sub>2</sub> para o continente e comercialização para a indústria.

Apesar de todas as alternativas serem igualmente analisadas, a opção preferida para o escoamento do CO<sub>2</sub>, presente no hidrocarboneto do Pré-sal, parece ser a reinjeção nos reservatórios do próprio Pré-sal, pois pode-se obter um benefício duplo nesta estratégia: o aumento no fator de recuperação do hidrocarboneto e a verificação do efetivo armazenamento do CO<sub>2</sub> produzido (ALMEIDA, 2010).

A injeção de CO<sub>2</sub> em reservatórios de hidrocarboneto não é uma tecnologia nova para a Petrobras. Conforme o descrito por Lino (2005), testes de injeção de CO<sub>2</sub> em campos da Bacia do Recôncavo, no estado da Bahia foram iniciados desde maio de 1991 no campo de Buracica.

Em um projeto de injeção, realizado pela Petrobras na Bacia do Recôncavo, o CO<sub>2</sub> proveniente da sua indústria de fertilizantes, localizada no Pólo Industrial de Camaçari- BA (FAFEN-BA), um subproduto da produção de amônia, que normalmente seria emitido para a atmosfera (200 t CO<sub>2</sub>/dia), é capturado e comprimido ao estado supercrítico, transportado através de um duto de 75 km e utilizado como insumo no projeto de EOR no campo maduro terrestre de Miranga (RAVAGNANI e SUSLICK, 2008).

A tecnologia do CGS deve ser analisada de forma distinta em seus diversos tipos de opções, podendo ser considerada uma tecnologia de transição entre as tecnologias de fim de tubo (*end of pipe*) e as tecnologias mais limpa enquanto se busca uma nova economia mais sustentável e menos intensiva em carbono ou simplesmente uma tecnologia estritamente de final de tubo, adotada para perpetuar um modelo de desenvolvimento econômico insustentável e totalmente dependente de combustíveis fósseis. Assim, tendo como referência a classificação de Lagrega et al (1994), apresentada na Fig. 1, a tecnologia CGS poderia ser classificada como uma estratégia de reciclagem interna/externa.

Como o caminho para que ocorram as mudanças entre o antigo modelo de desenvolvimento e a proposta de uma modelo sustentável é longo e entende-se não possa ser realizado sem que ocorra um período de transição, a opção do uso de tecnologias como a do CGS é crítica para contribuir na busca pela sustentabilidade. Segundo Batista (1993), antes que novas e melhores tecnologias ambientais sejam uma constante no mercado, tem-se que passar por um período de transição entre o antigo modo de produção de tecnologias de fim de tubo, ou *end of pipe*, e o novo, promoção de tecnologias mais limpas, visando o caminho de práticas ambientais que promovam um desenvolvimento mais limpo.

#### 4 Conclusões

Observou-se, após o apresentado neste artigo, que a classificação de uma tecnologia ambiental, enquanto mais limpa ou fim de tubo (*end of pipe*), deve perpassar diversos aspectos. Deve-se tomar como referência não somente a tecnologia em si, mas também as suas diversas formas de utilização.

É coerente afirmar, portanto, que a tecnologia CGS pode ser considerada uma tecnologia de transição entre as tecnologias de fim de tubo (*end of pipe*) e as tecnologias mais limpas conforme o dito anteriormente, a depender do tipo de



resposta estratégica frente às mudanças climáticas e à busca de um desenvolvimento mais sustentável adotada, pelas empresas que as utilizam, principalmente as ligadas ao setor de energia.

Vale ressaltar que esta é uma pesquisa exploratória sobre o tema e que a própria tecnologia do CGS está em fase de desenvolvimento e conseqüente amadurecimento tecnológico. O que implica na necessidade de estudos futuros que venham enriquecer esta pesquisa.

## 5 Referências

Almeida, A. S., Rocha, P. S. M. V., Lima, S. T. C., Pinto, A. C. C., Branco, C. C. M., Salomão M. C., 2010. A study on the potential for CCGS in the Pre-salt cluster of Santos Basin: the Tupi pilot application. Rio Oil & Gas Expo and Conference 2010. Rio de Janeiro, Setembro/2010.

Almeida, A. S., Lima, S. T. C., Rocha, P.S.M.V., Andrade, A.M.T., Branco, C.C.M., Pinto, A. C.C., 2010. CCGS Opportunities in the Santos Basin Pre-salt Development. SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Rio de Janeiro, abril/2010.

Batista, P. N., 1993. O desafio brasileiro: a retomada do desenvolvimento em bases ecologicamente sustentáveis. In: Política Externa, v.2, n.3, p.29-42, dez, 1993.

Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável - CEBDS. Guia de produção mais limpa faça você mesmo. Disponível em < <http://www.cebds.org.br/cebds/pub-docs/pub-resp-guia-da-pmaisl.pdf> > Acessado em janeiro/2011.

Centro Nacional de Tecnologias Limpas - CNTL. Disponível em: [http://srvprod.sistemafergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs\\_senai\\_uos/senairs\\_uo697/Qual%20a%20vantagem%20de%20se%20adotar%20Produ%E7%E3o%20mais%20Limpa.pdf](http://srvprod.sistemafergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/Qual%20a%20vantagem%20de%20se%20adotar%20Produ%E7%E3o%20mais%20Limpa.pdf) >. Acessado em Janeiro/2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Energy technology perspectives 2006: scenarios & strategies to 2050 in support of the G8 plan of action. Paris. Disponível em: <[www.iea.org/books](http://www.iea.org/books)>. Acessado em novembro/2008.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2005. IPCC special report on carbon dioxide capture and storage. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge, 2005. Preparado pelo Grupo de Trabalho III do IPCC.

Jabbour, C. J. C., 2007. Resgatando o conceito de tecnologia ambiental. In: ENCONTRO DA ANPAD, 29. Rio de Janeiro: ANPAD, 2007.

Jabbour, C. J. C., 2010. Tecnologias ambientais: em busca de um significado. In: Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, n. 44, n.3: p.591-611, Maio/Jun. 2010.

Kemp, r., Smith k., Becker, G., 2000. How to study the relationship between regulation and innovation?: the impact of EU regulation on innovation of European industry. Disponível em: < [http://www.energyrisks.jrc.nl/archive/eur\\_19827\\_en.pdf](http://www.energyrisks.jrc.nl/archive/eur_19827_en.pdf) >. Acessado em dezembro/2010.

Kiperstok, Asher, 2002. Prevenção da poluição. Brasília: SENAI/DN, 2002. (Programa SENAI Educação a Distância. Tecnologias e Gestão Ambiental – TGA).

Kiperstok, Asher, 2006. Sustentabilidade ambiental: produção e consumo. In:

Revista Ciências Exatas, Taubaté, v.12, .2, p. 141-150, 2006.

LaGrega, M. D.; Buckingham, P. L.; Evans, J. C., 1994. The Environmental Resources Management Group. Hazardous waste management. 1<sup>st</sup> ed. Singapore: McGraw-Hill, 1994.

Lenzi, C. L., 2006. Sociologia ambiental: risco e sustentabilidade na modernidade. São Paulo: Edusc, 2006.

Lino, U.R.A., 2005. Case History of Breaking a Paradigm: Improvement of an Immiscible Gas-Injection Project in Buracica Field by Water Injection at the Gas/Oil Contact. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.spe.org>>. Acessado em março/2009.

Lloyd, B., Subbarao, S., 2009. Development challenges under the clean development mechanism (CDM) – Can renewable energy initiatives be put in place before peak oil. Energy Policy, Volume 37, Issue 1, January 2009, Pages 237-245

Madruga, K., Nascimento, L. F. M., 1999. Produção Mais Limpa no Setor Automotivo e a Cadeia de Fornecedores do Rio Grande do Sul: estudos preliminares. In: VII ALTEC, Seminário Latino Americano de Gestão Tecnológica, Valencia, 1999.

Mello, M.C.A., Nascimento, L. F. M., 2002. Produção mais Limpa: um impulso para a inovação e a obtenção de vantagens competitivas. In: 22<sup>o</sup> ENEGEP-Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2002, Curitiba. ENEGEP 2002. Curitiba: ENEGEP, 2002.

Mohan, H., Carolus, M., Biglarbigi, Khosrow., 2008. The Potencial for Additional Carbon Dioxide Flooding Projects in the United States. SPE/DOE Improved Symposium. Oklahoma, Abril, 2008. USA.

National Energy Technology Laboratory – NETL, 2010. Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery - Untapped Domestic Energy Supply and Long Term Carbon Storage Solution. Disponível em: <[www.netl.doe.gov](http://www.netl.doe.gov)>. Acessado em janeiro/2011.

Pacala, S., Socolow R., 2004. "Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies". *Science* 305, 968.

United Nations Environment Programme - UNEP, 1996. Taking Action: an environmental guide for you and your community, 1996. Disponível em: <<http://www.nyo.unep.org/action/Text/TOC-t.htm>>. Acessado em abril/2009.

United State Environmental Protection Agency - EPA, 1988. Waste minimization opportunity assessment manual. Cincinnati: EPA, 1988.

World Business Council for Sustainable Development – WBCSD, 2006: eco-eficiência: criar mais valor com menos impacto. Disponível em: <<http://www.wbcsd.org>>. Acessado em dezembro/2008.

Ravagnani, A. T. F. S. G., Suslick, S. B., 2008. Modelo dinâmico de seqüestro geológico de CO<sub>2</sub> em reservatórios de petróleo. Rev. bras. geociênc., São Paulo, v. 38, n. 1, Mar. 2008. Disponível em: <[http://papegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0375-75362008000200004&lng=en&nrm=iso](http://papegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-75362008000200004&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em outubro/2010.

Ziliotto, M. A., 2009. Mudanças climáticas, seqüestro e mercado de carbono no Brasil. Curitiba: SENAC, 2009.