

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/304036184>

Potencial de oferta de créditos negativos de carbono a partir do mercado de etanol no Brasil

Article in *Espacios* · May 2016

CITATIONS

0

READS

38

2 authors:



[Augusto Alvim](#)

Pontifícia Universidade Católica do Rio Gran...

49 PUBLICATIONS 51 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Letícia Hoppe](#)

Pontifícia Universidade Católica do Rio Gran...

17 PUBLICATIONS 73 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



MERCADO INTERNACIONAL DE AÇÚCAR E ETANOL: MODELANDO OS EFEITOS DOS CUSTOS DAS TRANSAÇÕES COMERCIAIS [View project](#)



EuroChices special issue [View project](#)

All content following this page was uploaded by [Augusto Alvim](#) on 17 June 2016.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Potencial de oferta de créditos negativos de carbono a partir do mercado de etanol no Brasil

Potential supply of negative carbon credits from ethanol market in Brazil

Augusto Mussi ALVIM ¹; Letícia HOPPE ²

Recibido: 14/02/16 • Aprobado: 12/03/2016

Contenido

1. Introdução

2- Sequestro de carbono na produção de biocombustíveis

3- Localização espacial, políticas e créditos de carbono

4- Metodologia

5- Análise da viabilidade econômica

6- Conclusão

Referências bibliográficas

RESUMO:

Apesar dos biocombustíveis pertencerem a um dos mercados mais promissores para os produtos agrícolas, existe um debate crescente sobre o benefício ambiental desta atividade. Inserido neste contexto, este estudo tem por objetivo identificar o potencial de oferta de carbono com sequestro geológico de carbono a partir da produção de etanol no Brasil. Para atingir tal objetivo é analisada a viabilidade econômica para quatro cenários alternativos. Os melhores cenários são aqueles que possibilitam a comercialização de créditos de carbono através da tecnologia de armazenamento geológico de carbono, com simulação de redução de custo na captura de CO₂ e redução tributária.

Palavras-Chave: carbono negativo, etanol, sequestro geológico

ABSTRACT:

In spite of the biofuels markets be one of the most promising for agricultural products, there is an emerging debate about the environmental benefits of this activity. This paper analyzes the set of available technologies, which can stimulate the carbon sequestration and identifying the potential negative carbon supply from the Brazilian ethanol production. To achieve this aim is measured the economic viability to four alternative scenarios. The best scenarios are those that enable the carbon credits market at favorable prices using a process of geological storage of carbon, a reduction in the cost of CO₂ capture and a tax reduction.

Keywords: negative carbon, ethanol, and geological sequestration.

1. Introdução

Apesar da crescente demanda e do potencial de expansão do mercado de bioenergia no mundo, a produção de biocombustíveis permanece pequena quando comparada ao consumo mundial total. Inevitavelmente, os impactos potenciais sobre o meio ambiente e a economia dada à expansão da produção de biomassa e dos tradicionais combustíveis, devem ser continuamente avaliados. A exemplo disto, a possibilidade de reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) com a produção de energia a partir de fontes renováveis (biocombustíveis, hidráulica, eólica) deve ser reavaliada a fim de reduzir os efeitos antrópicos na Terra.

No mundo, o etanol é produzido principalmente no Brasil e nos Estados Unidos, os quais juntos foram responsáveis por aproximadamente 90% da produção em 2010. No Brasil a produção de etanol é baseada predominantemente na cana-de-açúcar, enquanto nos Estados Unidos é baseada no milho (FAO, 2013).

Associado a esta problemática, os estudos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) descrevem a importância de buscar novas tecnologias que diminuam as emissões de GEE, dentre eles o CO₂, considerado um dos principais gases causadores do efeito estufa. Dentre estes

estudos, o IPCC (2005 e 2011) emitiu relatório intitulado: Dióxido de Carbono - Captura e Armazenamento, apresentando o processo de captura e armazenamento geológico de CO₂ (CCS) como uma das novas tecnologias com maior potencial de redução de emissões.

O processo de armazenamento geológico de CO₂ pode ser realizado em reservatórios de gás e óleo, aquíferos salinos profundos e em camadas de carvão, tendo como fornecedora do CO₂ as mais distintas fontes estacionárias. Integrando esta tecnologia ao processo de produção de biocombustíveis é possível vislumbrar uma associação benéfica e ambientalmente correta entre a produção de energia renovável e o armazenamento geológico de carbono produzido nas próprias estações processadoras de combustíveis. Esta técnica torna possível a oferta de créditos negativos de carbono, termo utilizado para descrever o processo ou tecnologia adotada que retira o CO₂ da atmosfera e gera no final do processo um saldo negativo de emissões. Neste sentido, o presente estudo tem por objetivo identificar o potencial de oferta de créditos de carbono com a tecnologia de sequestro geológico de carbono considerando as principais regiões de produção de etanol no Brasil. Inicialmente são apresentadas as principais tecnologias de sequestro de carbono na seção 2. Na próxima seção é contextualizada a região de estudo, as políticas e créditos de carbono. Por fim são apresentados a metodologia, os resultados e as conclusões do trabalho.

2. Sequestro de carbono na produção de biocombustíveis

Apesar do uso de biocombustíveis ser considerado uma alternativa que possibilita um saldo zero em termos de emissão de carbono, existe um debate cada vez maior sobre os benefícios ambientais da produção e do consumo de biocombustíveis.

A ideia mais difundida é que a emissão de carbono pelos veículos automotores a base de biocombustíveis, teria o carbono reaproveitado pelas plantas quando cultivadas para produzir etanol ou biodiesel. A crítica a esta posição pode ser fundamentada quando analisada a tecnologia utilizada na produção agrícola e industrial de biocombustíveis. Neste sentido, tanto a atividade agrícola como industrial tradicionalmente adotam o uso intensivo de derivados na produção de biocombustíveis. Na agricultura através do uso de adubos, pesticidas e máquinas agrícolas e na indústria pelo beneficiamento do produto agrícola que tem como base o uso de petróleo em atividades de transporte, armazenamento, industrialização e distribuição do combustível (Mathews, 2008). Existem três possibilidades de relacionar as atividades econômicas com o saldo de emissão de carbono para atmosfera. A primeira alternativa é representada pela economia a base de petróleo que é carbono positiva. Neste caso, os combustíveis fósseis são utilizados e liberam carbono para a atmosfera.

A segunda alternativa ocorre quando os combustíveis liberam carbono e este é totalmente reaproveitado pelas plantas. Na prática, isto somente poderia ocorrer quando se considera apenas a etapa inicial de produção com a final, onde ocorre o uso de biocombustíveis.

Por fim, o sistema chamado carbono negativo ocorre quando através de uma atividade econômica torna-se possível obter um saldo negativo devido à retirada de CO₂ da atmosfera. A produção de biocombustíveis tem potencial para ser carbono negativo, desde que sejam utilizadas novas tecnologias na produção agrícola e industrial que permitam armazenar o CO₂ em reservatórios por um longo período de tempo.

O processo de transferência e estocagem de carbono em reservatórios por um período de tempo é chamado de sequestro de carbono. Existem cinco reservatórios de carbono disponíveis: o maior é o oceânico (38.400 Pg [3]); o segundo é o geológico (4.130 Pg); seguido pelo pedológico (2.500 Pg); a atmosfera (760 Pg); e os organismos vivos (Rattan, 2008).

Dentre as alternativas que possibilitam um sequestro de carbono por um período maior com o menor impacto ambiental têm-se os reservatórios geológico, pedológico e os organismos vivos. Especificamente no armazenamento geológico o processo envolve a captura, liquefação, transporte e injeção de carbono em estratos geológicos profundos. Esta tecnologia permite estocar geologicamente grandes quantidades de carbono por dezenas de milhares de anos (Ketzer et al, 2009), apesar de ainda ter um elevado custo, conforme apresentado por Hoppe (2012), pois não é uma tecnologia utilizada em larga escala.

Existem três formas principais de fazer o armazenamento geológico do CO₂: em campos de petróleo e de gás já depletados, em formações geológicas junto a aquíferos salinos e em jazidas de carvão. A injeção de CO₂ também pode ser realizada em reservatório de gás e petróleo como uma estratégia

econômica de ampliar a extração de óleo ou gás, aumentando o tempo de uso dos poços e contribuindo para reduzir os custos do processo de sequestro geológico de carbono.

Considerando a aplicação desta tecnologia, os biocombustíveis são uma alternativa que permitem combinar o uso de biomassa na produção de energia e o sequestro de carbono. Sabe-se que, para que este processo torne a atividade carbono negativo é necessária uma mudança importante nas práticas e nas políticas do setor de biocombustíveis, concomitante à adoção de novas tecnologias.

Segundo o estudo de Möllersten, Yan e Moreira (2003) a produção de biomassa permite a absorção de CO₂ da atmosfera na medida em que as plantas crescem. A biomassa ao ser transformada em CO₂, a exemplo da cana-de-açúcar, pode ser transformada também em energia ou biocombustíveis. Como saldo, dependendo da tecnologia e da eficiência do processo de 5-50% do CO₂ pode retornar para atmosfera; e 50 a 95% do CO₂ pode ser retirado da atmosfera. Segundo estes autores, a vantagem deste processo é produzir energia e simultaneamente retirar CO₂ da atmosfera.

Já o armazenamento geológico tem potencial para armazenar grandes quantidades de carbono, principalmente quando o carbono é oriundo de fontes estacionárias, dado que as tecnologias disponíveis de sequestro geológico de carbono foram desenvolvidas originalmente para atividades associadas à produção de combustíveis fósseis. Todavia, a complexidade técnica do processo e o custo elevado exigem uma análise mais cuidadosa quando se busca utilizar na produção de biocombustíveis (Kraxner, Nilsson e Obersteiner, 2003), principalmente por se tratar de uma tecnologia ainda não adotada em larga escala.

A primeira etapa consiste na captura e separação dos gases produzidos pelas fontes estacionárias selecionadas, que nesta proposta são plantas produtoras de Etanol. Ramirez et al (2009) avaliou as tecnologias mais adequadas para a separação e captura de CO₂ e identificou que a tecnologia mais eficiente, madura e com menor custo é a de absorção química por aminas.

Após a captura do CO₂ (que deve apresentar mais de 90% de pureza) deverá ser iniciada a etapa do transporte para o local de injeção e armazenamento geológico. Este transporte pode ser através de dutos, navios, trens e/ou por caminhões-tanque. O transporte mais recomendado quando a distância entre a fonte emissora for pequena ou média (até 150 km) é por dutovias (Sasaki, 2004). Nos demais casos, o transporte por meio de navios, trens e por caminhões são indicados, tendo em vista distâncias entre a fonte emissora e local do armazenamento superiores a 150 km.

A última etapa consiste na injeção do CO₂ em reservatórios geológicos através da perfuração de poços, semelhante à tecnologia petrolífera, já adotada há mais de três décadas. Wong et al (2000) destacam as principais características dos reservatórios geológicos para sua aplicação, características estas imprescindíveis para a sua execução: capacidade e injectividade (porosidade e permeabilidade); presença de unidade (selante ou confinante) adequada; e localização geológica estável da bacia, para evitar incidentes capazes de comprometer a integridade do armazenamento, como por exemplo, poucas falhas e fraturas (Ketzner et al, 2005). Consequentemente a identificação de local em território brasileiro para sua execução será embasada no cumprimento destes critérios.

3. Localização espacial, políticas e créditos de carbono

O desenvolvimento de novas tecnologias de produção de energia através da biomassa está sendo estimulado em função de dois principais aspectos: aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e a demanda cada vez maior por energia no mundo. A economia à base de petróleo é denominada de carbono positivo e acumula na atmosfera em torno de 8 gigatons CO₂/ano, o que eleva a acidificação dos oceanos e aumenta o aquecimento global (IPCC, 2011). Por outro lado, a produção de energia a partir da biomassa tem potencial para atender parte da demanda global por energia e potencial para reduzir o balanço de gases de efeito estufa (Mathews, 2008).

O Brasil apresenta características geográficas e climáticas que propiciam condições muito favoráveis para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. O recurso com potencial para geração de energia elétrica é o bagaço de cana-de-açúcar devido à elevada produtividade da lavoura canavieira. Logo, é possível transformar a biomassa sucroalcooleira em energia elétrica e etanol e disponibilizar parte destes resíduos do bagaço da cana como adubo orgânico para a produção agrícola.

Segundo dados do MAPA (2009) e da Conab (2011) cerca de 30% da cana é transformada em bagaço, o que em termos energéticos o bagaço equivale a 49,5%, o etanol a 43,2% e o vinhoto a 7,3%. Mesmo com esse alto valor energético, o bagaço é pobremente utilizado nas usinas, sendo praticamente incinerado na produção de vapor de baixa pressão (20 kgf/cm²). Esse vapor é utilizado

em turbinas de contrapressão nos equipamentos de extração (63%) e na geração de eletricidade (37%). A maior parte do vapor de baixa pressão (2,5 kgf/cm²) que deixa as turbinas é utilizada no aquecimento do caldo (24%) e nos aparelhos de destilação (61%); o restante (15%) não é aproveitado.

Neste contexto as questões ambientais passam a ser investigadas e a receber recursos para desenvolvimento de pesquisas que ofereçam alternativas tecnológicas para reduzir o aquecimento global. O armazenamento geológico de CO₂ pode contribuir significativamente na mitigação de um dos principais GEE, o dióxido de carbono, principalmente quando existem fontes estacionárias para captação de carbono, o que favorece a obtenção de economias de escala. As externalidades são intrínsecas a qualquer atividade econômica, no caso do armazenamento geológico é a redução da emissão de GEE para a atmosfera, objeto da tecnologia. Neste caso a tecnologia de BECCS gera uma externalidade positiva aliada ao aumento da produção do Etanol - um biocombustível, permitindo o sequestro de carbono. Ao associar plantas geradoras de energia, utilizando como insumo material de origem animal ou vegetal e tecnologia de armazenamento geológico de CO₂ torna-se possível um balanço negativo de emissões de CO₂ ao final do processo produtivo.

Estas seriam uma forma de estimular a adoção de novas tecnologias a partir de incitações de novas políticas para ampliar a mitigação de GEE. A criação de novos mecanismos para a obtenção de créditos de carbono se torna fundamental quando se pretende ampliar os compromissos de redução da emissão de GEE.

Sendo assim, a utilização de projeto de MDL para geração de Créditos de Carbono em plantas de Biomassa, associado ao geológico de CO₂, deveria ser incentivado para estimular as atividades que apresentassem potencial para a obtenção de créditos negativos de carbono.

Além disto, as políticas de mitigação do aquecimento global através dos mecanismos de crédito de carbono têm esquecido os efeitos do manejo do solo, das florestas e da integridade dos ecossistemas (Kraxner, Nilsson e Obersteiner, 2003). Dentro deste ponto de vista, seria importante conciliar a produção de biocombustíveis com certificação ambiental adicionais de carbono negativo. Esta certificação ambiental poderia estimular a produção de etanol associado às melhores práticas de produção na agricultura, na indústria e na distribuição. Segundo Mathews (2008) os combustíveis poderiam ser comercializados em bolsas de mercadorias com uma certificação ambiental adicional, a qual conforme o ponto de origem poderia promover a produção de etanol, biodiesel e energia limpa através das melhores práticas ao longo da cadeia de biocombustíveis.

Inseridos nesta proposta de certificação adicional, deve-se ter em mente que os benefícios ambientais dos biocombustíveis são fortemente influenciados pela localização espacial. É difícil imaginar algum cenário onde o desmatamento de florestas para a produção de biocombustíveis pode ser positivamente benéfico na emissão de carbono (Gibbs et al, 2008).

4. Metodologia

Nesta seção é apresentado o processo de captura e armazenamento geológico de CO₂ de Bioenergia (BECCS [4]) destacando as principais etapas, variáveis e indicadores a serem obtidos no estudo, tendo por objetivo a eficaz criação dos dados primários para sua construção.

Captura e Armazenamento Geológico de CO₂ em Plantas de Etanol

Para analisar a captura e armazenamento de CO₂ em sistemas de geração de energia por biomassa, deve-se levantar um conjunto de parâmetros e variáveis associadas à tecnologia a ser utilizada. Como por exemplo, em Barnes et al. (2010), os coeficientes e processo de captura e armazenamento geológico e ao mercado em questão (preços de energia elétrica, gás natural e CO₂). Quando o CO₂ é capturado da atmosfera por biomassa e armazenado geologicamente, a taxa de carbono da atmosfera para o subterrâneo é criada sob a forma de CO₂ permanentemente capturado (carbono negativo), pois se considera que a fonte energética renovável permite a neutralização do CO₂ emitido. Neste caso propõem-se a injeção de uma parte deste CO₂ que seria liberado para a atmosfera, resultando num saldo negativo de emissões.

Com o crescimento dos níveis de emissões de CO₂ na ordem de um trilhão de toneladas, a busca por novos processos para a obtenção de emissões negativas de carbono pode ser necessária para manter os níveis entre 350 e 450 ppm, conforme dados do IPCC (2011). Este processo tecnológico é, por exemplo, possível ser aplicado em plantas de geração de energia, indústria de papel, plantas de

etanol e de biogás (Mathisen et al, 2010).

Escalas consideradas

O exato tamanho dos locais a serem considerados para a realização da captura do gás, primeira etapa do BECCS, depende do local e das condições técnicas para sua efetivação, como, por exemplo, a quantidade disponível de CO₂. Um exemplo da necessidade mínima de escala de produção, pode ser verificada no caso da "M-Real", indústria de etanol em Husum (Suécia), de acordo com o relatório Global CCS Institute (2010), a qual teve sua implantação viabilizada dada a disponibilidade anual de dois milhões de toneladas de CO₂ disponíveis para armazenamento. Descreve-se no caso da M-Real e averiguado na pesquisa realizada que, a indústria de Etanol é um caso promissor para a implantação de BECCS, principalmente porque a parte do processo produtivo em que se realiza a captura é no estágio da fermentação, em que o CO₂ apresenta pureza entre 95 e 99%, segundo dados do Global CCS Institute (2010). Logo na etapa da captura e separação dos gases, que é apresentada por Hoppe (2012) como a mais onerosa, ela não precisa ser realizada, pois o CO₂ a ser capturado já apresenta elevada pureza.

Transporte

Após a separação e captura do gás de exaustão (CO₂) de elevada pureza (> 90%), este deve ser transportado ao local de injeção e armazenamento. Este transporte, conforme descrito anteriormente, é recomendável por dutos, considerando uma distância máxima de 150 km entre a fonte emissora e de armazenamento (Sasaki, 2004; Barret, 2009). Verifica-se que dentre as alternativas existentes para o transporte do CO₂, esta é a mais barata, por utilizar tecnologia já existente (os dutos de transporte são semelhantes aos utilizados nos gasodutos).

O transporte do CO₂ a partir da planta de captura para o local de armazenamento pode ser realizado por gasoduto, sendo este dimensionado através da taxa específica de CO₂ (cálculo do diâmetro) e distância a ser transportada, para que sejam minimizados os custos de capital, capacidade dos compressores e os custos operacionais, como descrito em Barnes et al (2010). Na implantação dos dutos, a utilização conjunta de rotas existentes de outras mídias ou entidades transportadoras é uma prática comum, minimizando a interferência com outros interesses, de caráter social dentre outros, e resulta em uma integração no desenvolvimento regional existente e, conseqüentemente, em um layout de rota com uma boa chance de sucesso.

No entanto, deve-se ressaltar que os dutos sofrem perda de temperatura e pressão, devido a fatores como perda de temperatura, fricção e elevação, segundo Bonijoly et al (2009). Estas propriedades de fluxo são importantes para determinar o diâmetro ideal do duto, sendo ajustado para manter a pressão alta suficiente para manter o CO₂ na fase fluida e densa, dado que em profundidades de aproximadamente 800m o CO₂ encontra-se em seu estado supercrítico. Uma tonelada de CO₂ ocupa 509m³ em condições de superfície, e a mesma quantidade ocupa 1.39m³ a 1.000m de profundidade (temperatura de 35°C e pressão de 110 bar). Observa-se, em relação ao volume ocupado pelo gás, que este decresce drasticamente com o aumento da profundidade e, em profundidades superiores a 1.500 metros, tanto a densidade, quanto o volume passa a ser praticamente constante.

O transporte de CO₂ por dutos foi adotado por ser considerado como uma tecnologia madura. O custo típico para sua construção varia entre 1 e 8 US\$ / t.CO₂ por 250 km, conforme Bonijoly et al (2009), que é mais rentável do que caminhão ou vagões-cisterna, exceto em uma escala muito pequena. O valor utilizado no estudo de caso foi de US\$ 5,00 t CO₂ transportado.

Armazenamento

O primeiro passo consiste em verificar se existe a possibilidade de armazenar geologicamente, em território brasileiro, o dióxido de carbono. Este ponto é superado com a apresentação da Figura 3, que através da combinação das variáveis geológicas versus tecnológicas, demonstra que o Brasil possui reservatórios propícios para a implementação da tecnologia de CCS, obedecendo às premissas elencadas anteriormente.

Como podemos observar, a figura 1 apresenta as fontes emissoras de CO₂ em território brasileiro, subdividas por escalas de emissão. Destacam-se os pontos maiores, pois indicam fontes com emissão de CO₂ superior a 3.401 kt.CO₂ por ano. O mapa ainda nos permite visualizar que a maior

concentração destas fontes está na região sudeste do país, apresentando um grande potencial como fornecedora do insumo ao processo – CO₂.

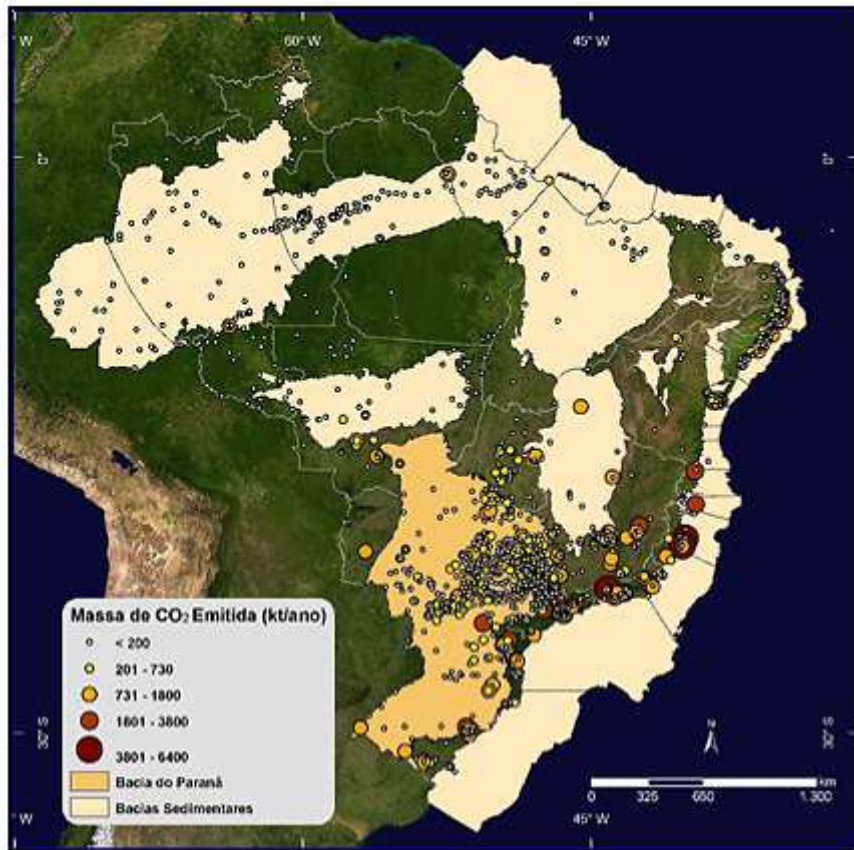


Figura 1- Mapa de localização das fontes estacionárias emissoras de CO₂ no Brasil
Fonte: Rockett, 2010.

De maneira a viabilizar economicamente o processo de armazenamento, e garantir uma quantidade mínima de CO₂ a ser estocada, a definição da área de captura de CO₂ deve também estar associado à existência de um cluster, neste estudo, um cluster formado por plantas de Etanol.

Concomitantemente a localização e/ou proximidade das fontes emissoras do seu local de armazenamento, influenciam substancialmente nos seus resultados, os custos relacionados ao transporte do CO₂, os quais são considerados como sendo realizados por sistemas por dutos. Dessa forma, a seleção do reservatório Aquífero Salino Formação Rio Bonito e a proximidade do mesmo às fontes emissoras - Plantas de Etanol - no estado de São Paulo, foram determinantes nos resultados.

Depois de realizada a associação entre fontes emissoras e reservatório geológico, a etapa seguinte consiste em mensurar os indicadores econômicos associados às diversas etapas do processo, tendo por objetivo a delimitação dos custos de mitigação e preços de mercado de variáveis como energia, gás natural e CO₂.

Diferentemente da grande maioria de fontes emissoras de CO₂, as plantas de etanol, na sua etapa do processo denominada de fermentação, têm o fluxo de carbono emitido quase puro, assim, apenas uma fase de desidratação é necessária (correspondendo à condensação do teor de água). Após a desidratação o CO₂, este será comprimido na unidade de 110 bars, o que garante que o CO₂ seja transportado no estado supercrítico [5], condições requeridas para a captura e posterior injeção de forma segura e eficiente. Como consequência positiva, tem-se a eficiência de captura em plantas de etanol, a qual é de quase 100%, alia-se ainda os custos reduzidos de captura de CO₂, que comparativamente aos combustíveis fósseis tradicionais, são significativamente inferiores.

Ainda em se tratando dos custos, a captura e separação dos gases, conforme apresentado em Hoppe (2009), correspondem à aproximadamente 60% dos custos totais do CCS tradicional, assumindo que para obtermos o CO₂ puro oriundo de fontes estacionárias de combustíveis fósseis é muito elevado, tornando o processo muito caro. Logo, tem-se no caso da captura do CO₂ de plantas de etanol na etapa da fermentação, uma drástica redução neste quesito. Segundo pesquisas realizadas, para plantas de etanol o custo de captura pode variar entre US\$ 10 e US\$ 60 t CO₂. Segundo Kheshgi e Prince (2005) o valor é de US\$ 10/t.CO₂, versus US\$ 60/ t.CO₂ de Ademe (2007) e de US\$ 40/

t.CO2 para Azar et al. (2006). O valor assumido neste estudo foi de US\$ 10/t.CO2 capturado, tendo como princípio uma análise otimista para o curto prazo dada a pureza do gás de exaustão e seu aproveitamento estar próximo a 100%.

5. Análise da viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto tem por objetivo auxiliar na formulação de um conjunto de projeções de receitas e despesas, que explicitem o potencial de retorno previsto ao investimento a ser realizado. A análise servirá como um subsídio de tomada de decisão, pois indicará se existe lucratividade no negócio, tanto para os próprios empreendedores, quanto para os investidores e financiadores. Um fator adicional à análise é a criação e projeção de diferentes cenários, permitindo visualizar os novos resultados com alteração de algumas premissas, reduzindo assim os riscos.

Os indicadores adotados para verificar a viabilidade econômica do projeto nos distintos cenários elaborados são a análise do Fluxo de Caixa, a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL). Considera-se para todos os casos uma Taxa Mínima de Atratividade ou uma Taxa de Desconto de 12%, taxa máxima adotada pelo BID aos empréstimos realizados para projetos industriais dos países emergentes.

Descrição do Cenário Atual

Atualmente a cadeia da cana-de-açúcar brasileira apresenta mais de oito milhões de hectares cultivados, dois milhões de empregos diretos, uma produção de 35 milhões de toneladas de açúcar e, aproximadamente, 30 bilhões de litros de etanol segundo dados da União da Indústria de Açúcar (UNICA), com base na produção de 2009 (UNICA, 2010, 2011).

A produção de cana-de-açúcar se concentra nas regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil, segundo dados oficiais do IBGE, NIPE-UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas – SP). Tratando especificamente da produção de etanol no Brasil, o Estado de São Paulo, de acordo com os dados da União da Indústria de Açúcar (UNICA, 2010 e 2011) safras 2008/2009, é responsável por 61,9% da produção, seguido do Paraná e do Mato Grosso do Sul.

A cana-de-açúcar tem um potencial fotossintético que ultrapassa o da maioria de plantas. Três motivos justificam a alta captura de CO₂ da cana: plantas do tipo C₃ consomem O₂ e liberam CO₂ num processo chamado de fotorrespiração. E as plantas do tipo C₄ como, por exemplo, a cana-de-açúcar e o milho são capazes de eliminar esta perda de CO₂ liberada pela fotorrespiração das folhas, tendo assim um maior poder retenção de carbono.

Considerando estas informações o estudo foi realizado para o estado de São Paulo, com captura de CO₂ de Plantas de Etanol e seu armazenamento realizado no reservatório geológico denominado de Aquífero Salino formação Rio Bonito, localizado na Bacia do Paraná, como pode ser verificado na Figura 5.

Descrição do processo produtivo e captura do CO₂

As unidades processadoras de cana-de-açúcar são classificadas como: usinas produtoras de açúcar, usinas com destilarias externas (que produzem açúcar e etanol); e destilarias autônomas (unidades produtoras de etanol). Em agosto de 2010 havia 432 usinas operando no Brasil, destes 251 eram unidades mistas de produção de açúcar e etanol, enquanto 162 eram destilarias. Todas as unidades processadoras de cana-de-açúcar são autossuficientes na produção de energia térmica e energia elétrica (UNICA, 2011).

Deste total, somente em São Paulo (maior estado produtor do Brasil) existem 177 usinas processadoras, destas somente cinco produzem exclusivamente açúcar, concentradas em uma área de 200 Km² de raio.

A maior parte do bioetanol é produzida por um processo de fermentação em batelada alimentada com ciclo de fermento (cerca de 80% do total), etapa esta na qual será realizada a captura do CO₂. Nesta etapa da produção do Etanol a concentração de CO₂ pode chegar a 99%, não necessitando de parte do processo que antecede sua injeção no reservatório geológico - o da separação dos Gases, que de maneira geral corresponde a 60% dos custos totais do BECCS.

O modelo adotado neste estudo considera como cenário uma destilaria padrão com capacidade de

produção diária de 1.020.000 litros de bioetanol, tendo como variáveis endógenas: a capacidade diária de moagem (12.000 toneladas de cana, operando 167 dias por ano); e um coeficiente de conversão de 85 litros de etanol por tonelada de cana, mesmos parâmetros adotados no trabalho publicado pela CGEE (2009). Destaca-se ainda a razão área plantada de 1 hectare para a produção de 71,43 toneladas de cana de açúcar. De acordo com os dados da UNICA na safra de 2008/2009 foram produzidos no Estado de São Paulo 16 bilhões de litros de Etanol.

Para cada metro cúbico de etanol produzido, 0,76 t. de CO₂ quase puro é emitida a partir do processo de fermentação, os quais serão capturados e, posteriormente, convertidos em créditos de carbono e inseridos para o cálculo das emissões negativas do processo (Bonijoly et al, 2009).

Adotando uma produção de 16 bilhões litros de Etanol e, para cada 1000 litros um fator de CO₂ produzido no processo de fermentação 0,76 toneladas, o projeto foi dimensionado para capturar 12 milhões de toneladas de CO₂ anualmente.

Para a construção dos cálculos de custo e posterior verificação da viabilidade econômica de se instalar a tecnologia BECCS, adotam-se os pressupostos descritos (tabela 1).

Tabela 1- Parâmetros para a construção dos cenários de BECCS de plantas de etanol em SP

Atividades/variáveis	Características das plantas de etanol
Etapa do Processo Produtivo para captura do CO ₂	Fermentação
Tecnologia de Captura no Curto Prazo e no Longo Prazo	Somente desidratação
Reservatório geológico	Aquífero Salino Rio Bonito
Tipo	Onshore
Profundidade para armazenamento	> 800m < 1200 m
Injectividade Mt/Ano CO ₂ por Poço	0,5
Número de Poços	24
Total de CO ₂ produzido	12 milhões de toneladas/ano
Período de atividade da planta	20 anos
Taxa de desconto	12%
Taxa de captura de CO ₂	100%
Compressão do CO ₂	110 bar

Fonte: Elaboração própria.

A Proposta de BECCS para armazenamento no Aquífero Salino Formação Rio Bonito tem como fonte estacionária fornecedora do CO₂ as plantas de etanol do Estado de São Paulo, as quais fornecerão nesse projeto 12 milhões de toneladas de CO₂ anualmente. Os valores inseridos nos cálculos do estudo de caso são descritos a seguir:

1. O custo de capturar e separar os gases de queima para a obtenção do CO₂ puro será de US\$ 10,00/t., o que equivale a R\$ 18,00 /t.

2. Para cada 1000 litros de etanol produzido, obtêm-se no processo de fermentação 0,76 toneladas de CO₂.
3. A distância entre a fonte de CO₂ e o local de injeção do CO₂ não ultrapassam 200 Km² de área total, podendo ser realizado por dutos.
4. O custo para a implantação dos dutos é de US\$ 5,00 /tCO₂, o equivalente à R\$ 9,00/ tCO₂ transportado.
5. Dado o volume de CO₂ a ser injetados e as características do reservatório são necessários 24 poços de injeção.
6. O custo de perfuração de cada um dos poços é de US\$ 540.000,00, convertidos para R\$ 972 mil reais para profundidade de aproximadamente 1 km.
7. O custo de monitoramento adotado foi de 2% sobre o valor total de captura, a ser desembolsado anualmente.

Ainda nesta seção, cabe salientar que as questões jurídicas relacionadas ao processo de BECCS ou CCS estão em processo de análise, pois a tecnologia ainda não é utilizada em território brasileiro. Projetos de BECCS podem ser visualizados em andamento e com sucesso de execução em países como a Holanda, Suécia e outros países europeus, conforme descrito detalhadamente no Global CCS Institute (2010).

Análise Financeira

Na análise da viabilidade econômico-financeira são utilizadas algumas premissas obtidas através de dados do mercado e de bibliografia especializada, dentre outros estudos de orçamento e quantificação de materiais, os quais são dimensionados para a execução de BECCS no Aquífero Salino Formação Rio Bonito.

Dado que todos os equipamentos são importados e cotados originalmente em dólar americano, estes são convertidos para a moeda nacional (real), onde a taxa de câmbio considerada é de R\$ 1,80 por dólar (Banco Central, 2012).

Sendo assim procedido, tem-se o investimento total do projeto na ordem de R\$ 351.648.000,00, e neste caso, considerando a origem de seu aporte capital como próprio, ou seja, da empresa executora do projeto. O fluxo de caixa projetado é para o período de 20 anos, sendo este adotado em função dos prazos médios usuais para análise de projetos com perfil semelhante ao presente, considerado como industrial.

A tributação sobre a Receita Bruta é realizada mediante o desconto do ICMS (15%), ISSQN no estado de São Paulo (5%) e PIS/COFINS (3,64%). Todas estas informações financeiras compõem o chamado cenário 1. O cenário 1 considerado como o ponto de partida, toma as tecnologias e os preços do crédito de carbono vigentes no mercado atual. Para a construção dos demais cenários (2, 3 e 4), consideram-se possíveis mudanças tecnológicas, expectativas de aumento no preço dos créditos de carbono e reduções tributárias.

Neste sentido, o cenário 2 simula uma mudança tecnológica no processo de captura de CO₂, reduzindo o custo de captura em 30%. Para o cenário 3 acrescenta-se às características do cenário 2, uma mudança nos preços do crédito de carbono para 40 reais. Por fim, o cenário 4 é o mais otimista considerando além das mudanças tecnológicas e nos preços do crédito de carbono, uma redução nos impostos, especificamente no PIS/CONFINS e no ISSQN. As premissas apresentadas anteriormente compõem os resultados obtidos apresentados a seguir.

As receitas advindas consideradas são provenientes da obtenção e posterior venda de Créditos de Carbono. No entanto, o valor que se considera para a conversão e análise de resultados é o valor obtido da Receita Líquida.

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 a países em desenvolvimento, sendo estas vigentes no mercado atual, conforme dados do BID (2012).

A seguir na tabela 2 são apresentados os custos de captura, transporte, armazenamento e monitoramento, para uma captura de 12 milhões de toneladas de CO₂. Nesta é possível observar que os cenários com menores custos são o 2 e o 4 devido à simulação da redução do custo de captura em 30%. Nos demais cenários não há mudança nos custos dado que a demais mudanças simuladas alteram apenas as receitas, conforme é discutido a seguir.

Cenário 01: Considerando a obtenção de Crédito de Carbono no final da implementação do BECCS como a única fonte de receita do projeto, é adotado, de acordo com as estimativas realizadas pela *European Climate Exchange*, (2012), o valor de R\$ 20,00 para cada Crédito de Carbono [6].

A produção anual informada pela Única (2011) foi de 16 bilhões de toneladas de Etanol e, portanto, com o fator de conversão adotado neste trabalho, obteremos 12 milhões de toneladas de CO₂ no estado de São Paulo advindos de plantas de etanol. Logo, tem-se como Receita Bruta Anual o valor de R\$ 240.000.000,00. Considerando deduções da receita bruta o ICMS, ISSQN, PIS/COFINS, auferem-se uma Receita Líquida anual de R\$ 183.240.000,00.

Tabela 2- Custos totais por etapa do BECCS

Custos por etapa do BECCS	CENÁRIO 1 (1000 reais)	CENÁRIO 2 (1000 reais)	CENÁRIO 3 (1000 reais)	CENÁRIO 4 (1000 reais)
Custo de captura	216.000,00	151.200,00	216.000,00	151.200,00
Implementação de dutos	108.000,00	108.000,00	108.000,00	108.000,00
Perfuração de poços	23.328,00	23.328,00	23.328,00	23.328,00
Monitoramento	4.320,00	3.024,00	4.320,00	3.024,00
Total	351.648,00	285.552,00	351.648,00	285.552,00

Fonte: resultados de pesquisa.

O fluxo de caixa do projeto é estimado anualmente através da dedução das entradas (receitas de Créditos de Carbono) as despesas pré-operacionais, as despesas operacionais e os impostos, destacadas na tabela 2 apresentada a seguir. No final do período considerado (20 anos) o fluxo de caixa acumulado ficou negativo, no valor de R\$ 1.056.168.000,00 não conseguindo, portanto, atingir resultados positivos.

O Payback simples e o Payback acumulado indicam em que data o fluxo de caixa do projeto começa a apresentar resultados positivos. Os dois resultados acabam se diferenciando, por no Payback acumulado, considerar nos seus cálculos a taxa de desconto, a qual nesse projeto foi considerada de 12% ao ano. Tanto no resultado do Payback simples como no acumulado, o projeto não atinge resultados positivos em seu fluxo de caixa.

O VPL é o resultado econômico, o lucro econômico descontado, esse trazido a Valor Presente, com o objetivo de calcular o retorno do capital investido, além do valor aportado inicialmente. Neste cenário o fluxo de caixa não foi capaz de atingir um valor positivo no período de 20 anos, demonstrando que o projeto é economicamente inviável e com VPL negativo de R\$ 4.294.012.383,33.

Em resumo, a taxa de retorno esperada e oferecida por outros ativos com risco equivalente ao do projeto em avaliação devem ser comparadas com a taxa de desconto. Esta, que iguala todos os fluxos de caixa ao longo do período projetado a zero, representa a maior taxa possível para que esses fluxos sejam efetivamente iguais a zero. Aqui também, a TIR (Taxa Interna de Retorno) tem que ser maior que a taxa de desconto, e neste cenário ela não consegue ser calculada (n.c.) devido aos fluxos negativos do caixa (tabela 3).

Cenário 02: Como adotado no cenário 1, a única fonte de Receita do projeto é oriunda da obtenção de créditos de carbono, sendo o valor assumido de R\$ 20,00 por unidade comercializada.

A distinção da premissa de valor de captura do CO₂ foi a única variação, passando de R\$18,00/t.CO₂ para R\$ 12,60/t.CO₂ capturado e pressurizado, o equivalente a 30% de redução de custo, percentual este de redução considerado em Rosegranth (2008) no cenário de longo prazo. Consequentemente reduziram-se os custos de monitoramento, os quais representam 2% sobre o

custo de captura, variando de R\$ 4.320.000,00 no cenário 1 para R\$ 3.024.000,00 no cenário 2. Do mesmo modo como no cenário 1, os resultados mostram que o projeto é economicamente inviável, o qual pode ser visualizado com detalhes na tabela 3.

Cenário 03: Na construção deste cenário, comparativamente com o cenário 1, houve variação apenas na Receita, dado que foi tomado para este cenário o valor de R\$ 40,00 a unidade comercializada de Crédito de Carbono. Dessa forma a Receita Bruta Anual passou de R\$ 240 milhões para R\$ 480 milhões. Com esta nova Receita o projeto atinge resultados positivos, apresentando um VPL de R\$ 3.945.845,025,46 e uma TIR de 41%, esta sendo superior à TMA adotada de 12%, o que indica que o projeto é considerado como Economicamente Viável, conforme podem ser vislumbrados na tabela 03. Outro destaque é para o Saldo Acumulado no Fluxo de Caixa, o qual se torna positivo a partir do quarto ano.

Cenário 04: Acrescido as mudanças incluídas no cenário 3, no cenário 4 é acrescida a redução tributária com a isenção do pagamento de PIS/COFINS e ISSQN, ficando somente com a obrigatoriedade do pagamento do ICMS, tendo como pressuposto a adoção de políticas públicas com medidas de incentivo, através de isenção tributária, para novas tecnologias no combate ao aquecimento global via projetos de mitigação de GEE.

Considerando a mesma produção anual de 16 bilhões de toneladas de etanol e 12 milhões de toneladas em créditos de carbono, tem-se agora, como Receita Bruta Anual o valor de R\$ 480.000.000,00. Descontando da Receita Bruta somente o ICMS, tem-se uma Receita Líquida de R\$ 462.480.000. Considerando todas as alterações descritas anteriormente, obtêm-se resultados que permitem classificar o projeto como economicamente viável, sob o ponto de vista econômico, com uma TIR de 108%, esta sendo superior à TMA adotada de 12%, e com um VPL de R\$ 11.728.608,493,57 para um período de 20 anos (tabela 3).

Tabela 3- Resultado da Análise Financeira para os cenários alternativos simulados

Indicadores	CENÁRIO 1 (1000 reais)	CENÁRIO 2 (1000 reais)	CENÁRIO 3 (1000 reais)	CENÁRIO 4 (1000 reais)
Valor Presente Líquido (VPL)	-4.294.012,00	-828.135,00	3.945.845,00	11.728.608,00
Taxa Interna de Retorno (TIR)	n.c.	n.c.	41%	108%
Taxa de desconto (TMA)	12%	12%	12%	12%

Fonte: resultados de pesquisa.

Cabe destacar que no Brasil ainda não são cobrados tributos/impostos de forma geral por emissão de CO₂ acima de limites previamente estabelecidos. Este aspecto poderia tornar o projeto ainda mais atrativo, tais como em países europeus, dentre eles Noruega, Holanda e Suíça em que o custo pelo pagamento destes tributos sobre a emissão de CO₂ se iguala ao custo de implementação de tecnologias de captura e armazenamento deste GEE.

Por fim, a utilização em larga escala desta tecnologia de captura e armazenamento geológico de CO₂ mostrou-se viável em cenários pouco prováveis na atualidade, o que mostra a importância de uma ação através de políticas públicas que incentivem a adoção destas tecnologias. Conforme comentado anteriormente é necessário, além das técnicas de armazenamento geológico, outras medidas conjuntas para que a produção de etanol venha a ser reconhecida não somente como uma atividade com potencial de oferta de créditos negativos de carbono, mas também uma atividade que traz retornos ambientais associados como, por exemplo, proteção do solo e da água e os problemas sociais e econômicos decorrentes destes problemas.

6. Conclusão

A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar apresenta-se como uma cultura com potencial de produzir energia limpa, contribuindo para diminuir os efeitos negativos do aquecimento global.

Como o armazenamento pedológico é limitado em termos de reservatório de carbono, apesar dos baixos custos de execução, neste estudo analisa-se com maior detalhamento o armazenamento geológico de carbono.

A partir da análise de viabilidade econômica de quatro cenários alternativos são avaliadas as condições necessárias do ponto de vista econômico para que esta tecnologia seja utilizada na produção de etanol no Brasil. Os resultados mostram a importância de associar políticas públicas com inovação tecnológica para obter atividades carbono negativo.

Neste sentido, o mecanismo de créditos de carbono para esta tecnologia é fundamental para viabilizar as primeiras iniciativas. Todavia, apenas o mercado de carbono não seria suficiente para tornar viável esta tecnologia. Os resultados do trabalho mostram a necessidade de pelo menos três aspectos: preços iguais ou superiores a 40 reais por tonelada de crédito de carbono; redução nos custos de captura de carbono; e incentivos fiscais para viabilizar economicamente a tecnologia de armazenamento de carbono.

Por fim, é importante associar estes mecanismos de sequestro de carbono com outras políticas ambientais que favoreçam a preservação de solo e água e previnam o desmatamento de florestas tropicais. Neste sentido, uma alternativa seria associar estes mecanismos de sequestro de carbono com certificação ambiental para carbono negativo. A certificação ambiental poderia estimular a produção de etanol através da possibilidade de comercializar o produto a melhores preços e, ao mesmo tempo contribuir para a adoção das melhores práticas de produção na agricultura, na indústria e na distribuição do etanol.

Referências bibliográficas

- ADEME (French Environment and Energy Management Agency), BRGM, IFP, CO₂ capture and storage in the subsurface, in: I. Czernichowski-Lauriol, A. Ehinger, N. Thybaud (Ed.), **Geoscience Issues**, 2007, 64 p.
- Azar, C. et al. (2006). Carbon capture and storage from fossil fuels and biomass – Costs and potential role in stabilizing the atmosphere, **Climatic Change**, 74: 47-79.
- Banco Central do Brasil (BC). Disponível em < <http://www4.bcb.gov.br>. Acesso em março de 2012.
- Barnesa, D. et al. (2010). **Energy Procedia GHGT-10**. Combined Sustainable Biomass Feedstock Combustion, CO₂/EOR, and Saline Reservoir Geological Carbon Sequestration in Northern Lower Michigan, USA: Towards Negative CO₂ Emissions.
- BARRETT, S. (2009). The Coming Global Climate–Technology Revolution. **The Journal of Economic Perspectives**, Volume 23, Number 2, pp. 53-75(23).
- BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento). (2012). Disponível em < <http://www.iadb.org/es/proyectos/proyectos,1229.html>> Acesso em julho de 2013.
- Bonijolya, D. et al, S. (2009). **Technical and economic feasibility of the capture and geological storage of CO₂ from a bio-fuel distillery: CPER Artenay project**. Energy Procedia GHGT.
- CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). (2009) **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil** - Brasília, DF. Disponível em < http://www.cgee.org.br/publicacoes/bioetanol2_2009.php> Acesso em agosto de 2011.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2011). **A geração Termoeétrica com a queima do bagaço da cana-de-açúcar no Brasil**. Disponível em < <http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em fevereiro de 2012.
- European Climate Exchange (2012). **The European Climate Exchange (ECX) is the leading marketplace for trading carbon dioxide (CO₂) emissions in Europe and internationally**. Disponível em < <http://www.eea.europa.eu/>>. Acesso: em março de 2012.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2013). **The State of food and Agriculture 2010-2011**. Disponível em < <http://www.fao.org/>>. Acesso em agosto de 2013.
- GIBBS, H. K. et al. (2008). Carbon Payback times for crop-based biofuels expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology. **Environmental Research Letters**, n. 3, p.1-10.
- Global CCS Institute. (2010). **Global Status of BECCS Projects 2010**. Disponível em: <www.globalccsinstitute.com> Acesso em janeiro de 2012.
- HOPPE, L. (2009) **Geração de energia limpa e diversificação da matriz energética: a viabilidade da produção de gás natural a partir do armazenamento geológico de CO₂ na**

jazida de Charqueadas. Brasil. Porto Alegre. Dissertação realizada no Programa de Pós-Graduação em Economia da PUCRS.

HOPPE, L. (2012) **Modelagem para avaliação do potencial de captura e armazenamento geológico de CO₂ em campos de petróleo, camadas de carvão e aquíferos salinos no Brasil** Brasil. Porto Alegre. Tese realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais da PUCRS.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). (2005). **IPCC Special Report: Carbon Dioxide Capture and Storage.** Cambridge University Press, New York.

----- (2011). **SPECIAL REPORT. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.** Disponível em: < <http://srren.ipcc-wg3.de/> >. Acesso em: setembro de 2011.

Kheshgi, H.S. Prince, R.C. (2005). Sequestration of fermentation CO₂ from ethanol production. **Energy**, n. 30, 1865-1871.

KRAXNER, F.; NILSSON, S.; OBERSTEINER, M. (2003) Negative Emissions from BioEnergy use, carbon capture and Sequestrion (BECS) – the case of biomass production by sustainable forest management from semi-natural temperate forests. **Biomass & Bioenergy**. 24, p. 285-296. Disponível em: www.elsevier.com/. Acesso em fevereiro de 2012.

KETZER, J. M. et al. (2005). Geological Sequestration of CO₂ 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.

KETZER, J. M. et al. (2007). **Opportunities for CO₂ Capture and Geological Storage in Brazil: The CARBMAP Project May 7-10, Pittsburgh, Pennsylvania: Sheraton Station Square.**

KETZER, J. M. et al. (2009) Water-rock-CO₂ interactions in saline aquifers aimed for carbon dioxide storage: Experimental and numerical modeling studies of the Rio Bonito Formation (Permian), southern Brazil. **Applied Geochemistry**, n. 24, p. 760-767.

Kheshgi, H.S. Prince, R.C. (2005). Sequestration of fermentation CO₂ from ethanol production. **Energy**, n. 30, 1865-1871.

MATHEWS, J. A. (2008). **Energy Policy**. 36, p. 940-945. Disponível: www.elsevier.com. Acesso: 22 de fevereiro de 2012.

Mathisena, A, et al. (2010). **Energy Procedia GHGT-10.** Combining bioenergy and CO₂ capture from gas fired power plant.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). (2009). **Relatório sobre Biomassa.** Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/>. Acesso em março, 2011.

MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo.** Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: março de 2011.

----. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima.** Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/> >. Acesso em fevereiro de 2011.

MÖLLERSTEN, K.; YAN, J.; MOREIRA, J. R. (2003). Potential Market Niches for Biomass Energy with CO₂ capture and storage – Opportunities for energy supply with negative CO₂ emissions. **Biomass & Bioenergy**, n. 25, p. 273 -285. Disponível: www.elsevier.com/ . Acesso em fevereiro de 2012.

RAMIREZ, C.A. et al. (2009). Screening CO₂ storage options in the Netherlands. **Energy Procedia I**, p.2801-2808.

RATTAN, L. (2008). Carbon Sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, n. 363, p. 815-830. Disponível em: www.rstb.royalsocietypublishing.org. Acesso: 22 de fevereiro de 2012.

RAVAGNANI, A. T. G. (2007). **Modelagem Tecno-econômica de Sequestro de CO₂ considerando Injeção em Campos Maduros.** Tese (Doutorado), Unicamp: Campinas.

Rockett, G. C. (2010) **Associação de fontes emissoras e reservatórios potenciais para armazenamento geológico de CO₂ na Bacia de Campos, Brasil.** Porto Alegre. Dissertação realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da PUCRS.

ROSEGRANT, M. W, et al. Global Scenarios for Biofuel: impacts and implications. **Review of Agricultural Economics**, vol. 30, number 3, 2008.

Sasaki K. (2004). Carbon Sequestration Technology – Current Status and Future Outlook, **Fourth**

Meeting for Research and Report. Institute of Energy Economics, Japan, IEEJ Publication, 18p. STERN, N. (2006). **The economics of climate change – Report Stern.** Out. Disponível em: <<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk>>. Acesso em: fevereiro de 2011.

UNICA (União da Indústria Canavieira). (2010 e 2011). Disponível em <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica>>. Acesso em março de 2011.

Wong, S. et al. (2000). **Economics of CO₂ sequestration in coalbed methane reservoirs**, Paper Spe 59785 presented at the 2000 Spe/Ceri Gas Technology Symposium, Calgary, Alberta, Canada, 3-5 April.

-
1. Doutor em Economia. Professor Titular da PUCRS. Pesquisador do CNPq. E-mail: augusto.alvim@pucrs.br.
 2. Doutora em Engenharia de Materiais. Professora Adjunta da PUCRS. E-mail: leticia.hoppe@pucrs.br
 3. Pentagrama, sendo que 1 Pg = 10¹⁵ gramas.
 4. Bio-Energy with Carbon Capture and Storage.
 5. CO₂ em estado supercrítico: O CO₂ estará em estado supercrítico quando ele se encontrar em temperaturas e pressões maiores que 31,1 °C e 7,38 MPa (temperatura e pressão críticas), respectivamente. Neste estado não pode ser feita distinção entre líquido ou vapor, de tal forma que o CO₂ é um fluido que se comporta como um gás em termos de compressibilidade, porém sua densidade pode ser maior que a densidade da água no estado líquido (Ketzer et al, 2009).
 6. Destacando que 1t CO₂ eq.= 1 Crédito de Carbono).
-

Vol. 37 (Nº 15) Año 2016

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]