

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADO AO SEQUESTRO GEOLÓGICO DE CO₂ NO BRASIL

Gabriela Camboim ROCKETT¹

Claudia Xavier MACHADO¹

João Marcelo Medina KETZER¹

Resumo

O sequestro geológico de CO₂ é uma das tecnologias mais promissoras para a mitigação de mudanças climáticas, tendo por objetivo a redução de gases de efeito estufa através da captura de CO₂ (um dos principais gases de efeito estufa) de fontes emissoras estacionárias e armazená-lo em reservatórios geológicos adequados. O objetivo deste artigo é apresentar como um Sistema de Informações Geográficas (SIG) possibilitou a análise técnica-espacial para a identificação bem como a avaliação de áreas potenciais para armazenamento geológico de CO₂ no Brasil. A elaboração de um SIG para este fim possibilitou o desenvolvimento de produtos que permitem uma análise ampla da situação atual do Brasil no que se refere a todas as etapas envolvidas no sequestro geológico de CO₂. Este trabalho está inserido no Projeto CARBMAP, desenvolvido pelo Centro de Excelência em Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono (CEPAC) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: SIG. Sequestro Geológico de CO₂. Análise técnica-espacial. CARBMAP.

Abstract

Geographic information system applied to CO₂ geologic sequestration in Brazil

CO₂ geological storage is one of the most promising technologies for climate change mitigation and aims to reduce greenhouse gas emissions by means of capturing CO₂ from stationary sources and storing it in suitable geologic reservoirs. The aim of this article is to present how a Geographic Information System (GIS) allowed technical-spatial analysis for identification of potential areas for CO₂ geological sequestration in Brazil. The development of a GIS for this purpose resulted in products which enabled a wide analysis on Brazilian current situation regarding all the three main steps of this activity. This research is part of the CARBMAP Project, developed by the Brazilian Carbon Storage Research Center (CEPAC) from Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul.

Key words: GIS. CO₂ geological sequestration. Technical-spatial analysis. CARBMAP.

¹ CEPAC/PUCRS - Geógrafa - Pesquisadora Bolsista - E-mail: gabriela.rockett@pucrs.br

¹ CEPAC/PUCRS - Geógrafa - Pesquisadora - E-mail: claudia.machado@pucrs.br

¹ CEPAC/PUCRS - Geólogo - Coordenador Geral do CEPAC - E-mail: marcelo.ketzer@pucrs.br

¹ Endereço para correspondência: CEPAC - Centro de Excelência em Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono / PUCRS - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - Av. Ipiranga, 6681, prédio 96J - Tecnopuc - Bairro Partenon - CEP: 90619-900 - Porto Alegre / Rio Grande do Sul

INTRODUÇÃO

O aquecimento global é um problema ambiental atual, e para sua mitigação, são necessárias medidas eficazes a curto prazo no que se refere à redução de gases de efeito-estufa. A atividade humana vem constantemente (trans)formando o espaço geográfico ao longo de sua história e, neste contexto, diversos estudos comprovam a responsabilidade das emissões antrópicas de CO₂ no aquecimento global já vivido pela humanidade nos dias de hoje (IPCC, 2007), principalmente devido à queima de combustíveis fósseis.

Os níveis atuais de CO₂ na atmosfera nunca foram atingidos no passado geológico da Terra. A Figura 1 mostra a concentração de dióxido de carbono na atmosfera desde 400.000 anos atrás (Hansen, 2005, p.271), onde pode-se observar que a concentração de CO₂ na atmosfera nos períodos de eras glaciais e interglaciais apresentou variação entre 180 e 280 ppm (partes por milhão), ficando evidenciado o aumento significativo deste gás na atmosfera a partir de da revolução industrial (1800). Segundo Hansen et al. (2008, p.2), a concentração de dióxido de carbono na atmosfera atualmente é de 385 ppm.

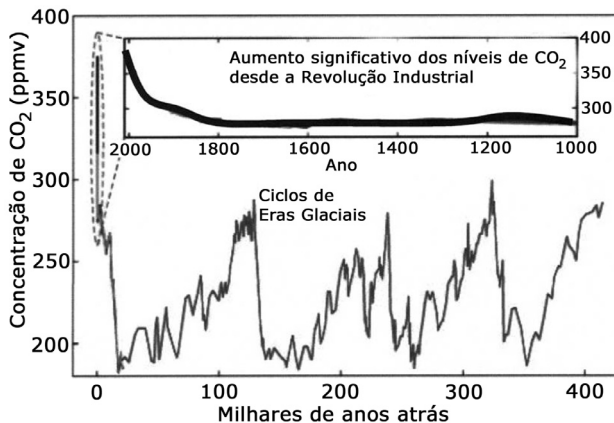


Figura 1 - Concentração de CO₂ na atmosfera desde 400.000 anos atrás

(adaptado de HANSEN, 2005)

Houghton et al. (1997, p.14) prevêem que as emissões antrópicas de CO₂ aumentarão de 50% a 250% até o meio deste século e alertam que as mudanças climáticas serão irreversíveis por volta de 2050, caso as emissões não sejam estabilizadas aos níveis atuais (próximo aos 380 ppm). Alguns dos impactos esperados em decorrência do aumento da temperatura média do planeta são a disseminação de doenças infecciosas e alterações do nível do mar e dos ecossistemas marinhos (ex. IPCC, 2007, p.248; Meehl et al, 2005, p.1769). No panorama nacional, a elevação do nível do mar é um fator preocupante, visto que grandes cidades brasileiras localizam-se perto da costa.

Com o objetivo de contribuir para a mitigação deste problema ambiental global, diversas medidas estão sendo adotadas visando à redução das emissões mundiais de gases de efeito estufa, como por exemplo o Protocolo de Kyoto, que prevê que os países industrializados devem reduzir e estabilizar suas emissões em 5,2% em relação aos níveis do ano de 1990, entre os anos de 2008 e 2012. Para a redução de emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, uma das tecnologias promissoras é o sequestro geológico de CO₂, o qual tem por objetivo capturar este gás (um dos principais gases de efeito estufa) de fontes emissoras.

ras estacionárias e armazená-lo em reservatórios geológicos adequados, impedindo que o mesmo retorne à atmosfera por uma escala de tempo geológica.

SEQUESTRO GEOLÓGICO DE CO₂

O sequestro geológico de CO₂ é constituído de três etapas principais: a captura do CO₂ em fontes emissoras estacionárias (como por exemplo, termelétricas), seu transporte e armazenamento em formações geológicas profundas (AYDIN et al., 2010; BENSON, 2005), as quais têm a capacidade de reter fluidos por milhões de anos. Tendo em vista o modelo de desenvolvimento econômico da sociedade atual – a qual é baseada no uso de combustíveis fósseis – e considerando-se que a mudança para energias renováveis não é uma realidade a curto prazo, Ketzer (2006) considera o armazenamento geológico uma das mais importantes medidas mitigadoras de gases do efeito estufa em termos de capacidade de armazenamento e tempo de aplicação da tecnologia. Outra vantagem para ao desenvolvimento desta atividade é que o armazenamento de CO₂ em formações geológicas envolve diversas das mesmas tecnologias já desenvolvidas pela indústria do petróleo (IPCC, 2005).

A etapa de captura do CO₂ no efluente gasoso das fontes emissoras estacionárias é comumente feita com o uso de solventes/sorbentes e/ou membranas, sendo esta etapa a de maior custo no empreendimento de sequestro geológico de CO₂. O transporte de CO₂ é feito geralmente por redes de dutos, podendo ser também transportado por navios. Para a etapa do armazenamento do CO₂, as rochas sedimentares são as mais adequadas, pois contêm porosidade (capacidade de conter fluido) e permeabilidade (capacidade de transmissão de fluidos).

Para fins de armazenamento geológico de CO₂, três tipos de reservatórios são considerados potenciais: campos de óleo e gás, camadas de carvão não mineráveis, e aquíferos salinos profundos. O CO₂ deve preferencialmente ser comprimido ao estado supercrítico (pressão > 7,38 MPa e temperatura > 31°C) para posteriormente ser injetado no reservatório geológico. A condição supercrítica do CO₂ é preferida, pois desta forma o gás ocupa menor volume dentro do reservatório. Toma-se como padrão uma profundidade mínima de 800 metros, porém, sabe-se que o gradiente geotérmico pode variar de acordo com cada bacia sedimentar e reservatórios específicos.

O armazenamento de CO₂ é mais atrativo economicamente em campos de petróleo ou camadas de carvão, visto que auxilia na produção de óleo residual nos campos de petróleo e gás metano nas camadas de carvão, podendo gerar uma receita proveniente da venda destes combustíveis recuperados.

Sequestro Geológico de CO₂ no Brasil

O Brasil é um grande emissor mundial de CO₂, sendo a maior parcela de suas emissões de CO₂ (75%) proveniente de práticas agrícolas e desmatamento e apenas 25% proveniente da queima de combustíveis fósseis – que constituem as fontes emissoras estacionárias.

Segundo Lino (2005), o armazenamento geológico de CO₂ para recuperação avançada de óleo já é realizada desde 1991 na Bacia do Recôncavo, atestando que o Brasil já possui experiência nesta atividade. No âmbito de mitigação de mudanças climáticas, os investimentos em pesquisas nesta área são crescentes e diversos estudos relacionados ao sequestro de CO₂ estão sendo realizados no Brasil (ex. ROCKETT, 2008; HOPPE, 2009), com investimento público e privado. Estudos preliminares (KETZER et al., 2007) indicam que o Brasil possui grande capacidade de armazenamento de CO₂, sendo a capacidade teórica 2.000 Gt (bilhões de toneladas) em campos de petróleo, camadas de carvão e aquíferos salinos.

Tendo em vista o potencial brasileiro de armazenar CO₂, o investimento em pesquisas para a implantação desta atividade tem aumentado nos últimos anos.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO₂ NO BRASIL

Segundo Aronoff (1989), um SIG é "qualquer conjunto de procedimentos manuais ou baseados em computador destinados a armazenar e manipular dados referenciados geograficamente". Assim, um SIG pode auxiliar na análise técnico-espacial para identificação e avaliação de áreas potenciais para armazenamento de CO₂, visto que esta análise demanda a associação de diversos elementos espaciais essenciais para que a atividade seja realizada com êxito, como fontes estacionárias emissoras de CO₂ e reservatórios geológicos para seu armazenamento, além de infraestrutura instalada para transporte. Características geológicas dos reservatórios, quantidade de CO₂ emitida por fontes estacionárias adjacentes, qualidade do efluente das fontes emissoras, disponibilidade de infraestrutura para transporte são alguns dos fatores importantes a serem considerados quando for realizada a avaliação de áreas potenciais para este empreendimento.

Segundo Bradshaw e Dance (2004), o grau em que o armazenamento geológico de CO₂ será implementado no futuro depende das relações geográficas e técnicas entre fontes emissoras de CO₂ e reservatórios geológicos para armazenamento, além de fatores econômicos, fatores de risco, etc. Este conjunto de variáveis influenciarão na viabilidade da implementação desta atividade em cada local específico, auxiliando o processo de planejamento e tomada de decisão.

Considerando-se que a distribuição espacial dos objetos de interesse à atividade de sequestro de carbono é fundamental para o planejamento da mesma, diversos estudos de associação entre fontes emissoras e reservatórios geológicos potenciais para armazenamento geológico de CO₂ estão sendo realizados a nível mundial, e muitos deles se utilizam de SIG para diversas análises. Bradshaw e Dance (2004), por exemplo, elaboraram um mapa mundial preliminar de associação fontes-reservatórios através de *overlay* (Figura 2), o qual permitiu identificar que algumas regiões com grandes emissões de dióxido de carbono encontram-se próximas a bacias sedimentares não prospectivas ou com baixa prospectividade de armazenamento (por exemplo, emissões na porção leste do continente Asiático), bem como outras regiões onde grande quantidade de emissões encontram-se próximas a bacias sedimentares com alta prospectividade para armazenamento de CO₂ (por exemplo, nos Estados Unidos).

O projeto CARBMAP (Mapa Brasileiro de Captura, Transporte e Armazenamento Geológico de CO₂) foi desenvolvido no Centro de Excelência em Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono da PUCRS, com o objetivo de identificar áreas potenciais para a implementação desta atividade no Brasil. Para isso, um sistema de informações geográficas para associação de fontes emissoras e reservatórios geológicos de CO₂ no Brasil foi desenvolvido utilizando-se a ferramenta ArcGIS 9.3.1.

O SIG foi construído por meio da criação de planos de informação relativos ao tema, como localização das fontes estacionárias e volume de CO₂ emitido, as tecnologias indicadas para captura em cada tipo de fonte emissora, infra-estrutura existente para transporte, localização das bacias sedimentares brasileiras, capacidade de armazenamento de CO₂ dos diferentes reservatórios em cada bacia, entre outros, conforme descrito a seguir. A construção deste SIG visa a atender aos propósitos de analisar o maior número de elementos técnicos presentes e a sua relação com o espaço onde está localizado.

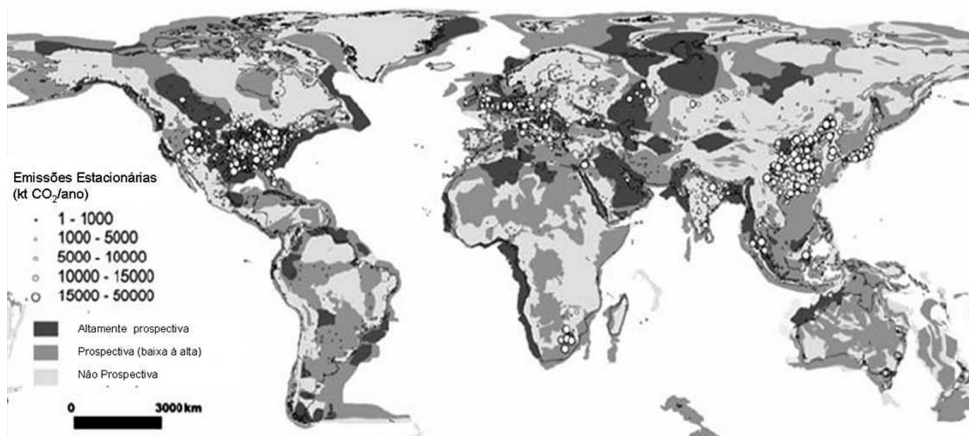


Figura 2 - Localização das fontes emissoras de CO₂ e prospectividade das bacias sedimentares mundiais para armazenamento de CO₂

(BRADSHAW; DANCE, 2004).

Planos de Informações do SIG

Os planos de informações (*layers*) gerados contêm dados coletados através de pesquisa bibliográfica, imagens georreferenciadas, coletas de campo, entre outros. Cada *layer* foi criado na forma de vetor (pontos, linhas ou polígonos), no formato *shapefile*. A tabela de atributos contém os dados referentes a cada feição vetorizada.

Os bancos de dados georreferenciados estão em constante atualização e aprimoramento, tendo em vista a qualidade dos produtos gerados pelo Projeto CARBMAP.

Fontes Emissoras e Captura de CO₂

As fontes emissoras de CO₂ catalogadas no banco de dados de emissões da Agência Internacional de Energia (IEA, 2006) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2005) serviram de base para a produção cartográfica. Através das coordenadas geográficas de cada fonte emissora foi gerado um plano de informação do tipo ponto (*shapefile*), e posteriormente as informações referentes a cada fonte emissora foram sendo introduzidas na tabela de atributos. O setor produtivo de cada fonte emissora, status da planta, massa de emissão anual de CO₂, concentração de CO₂ no efluente gasoso, quantidade e capacidade de produção da planta, combustível utilizado, além dos dados de localização e identificação da planta são algumas das informações que constam no banco de dados georreferenciados.

O SIG possibilitou a localização espacial das fontes por setor e a identificação das maiores fontes emissoras estacionárias no território nacional. A identificação do tipo de combustível utilizado permitiu a identificação da tecnologia mais apropriada para a captura do CO₂ em cada fonte.

Bacias Sedimentares e Campos de Óleo e Gás

A análise das bacias sedimentares brasileiras é de fundamental importância para as pesquisas em sequestro geológico de CO₂, tendo em vista que todo o potencial de armazenamento encontra-se nas áreas de formação sedimentar. Como base de produção cartográfica foram utilizados os limites territoriais das 31 bacias sedimentares brasileiras, conforme Milani et al. (2007), além de campos de petróleo do território brasileiro georreferenciados, conforme CPRM (2003). Foi necessário o georreferenciamento de imagens para posteriormente fazer-se a vetorização dos limites dos reservatórios através de um arquivo *shape* de polígonos. A figura 3 mostra a distribuição das bacias sedimentares no território brasileiro.

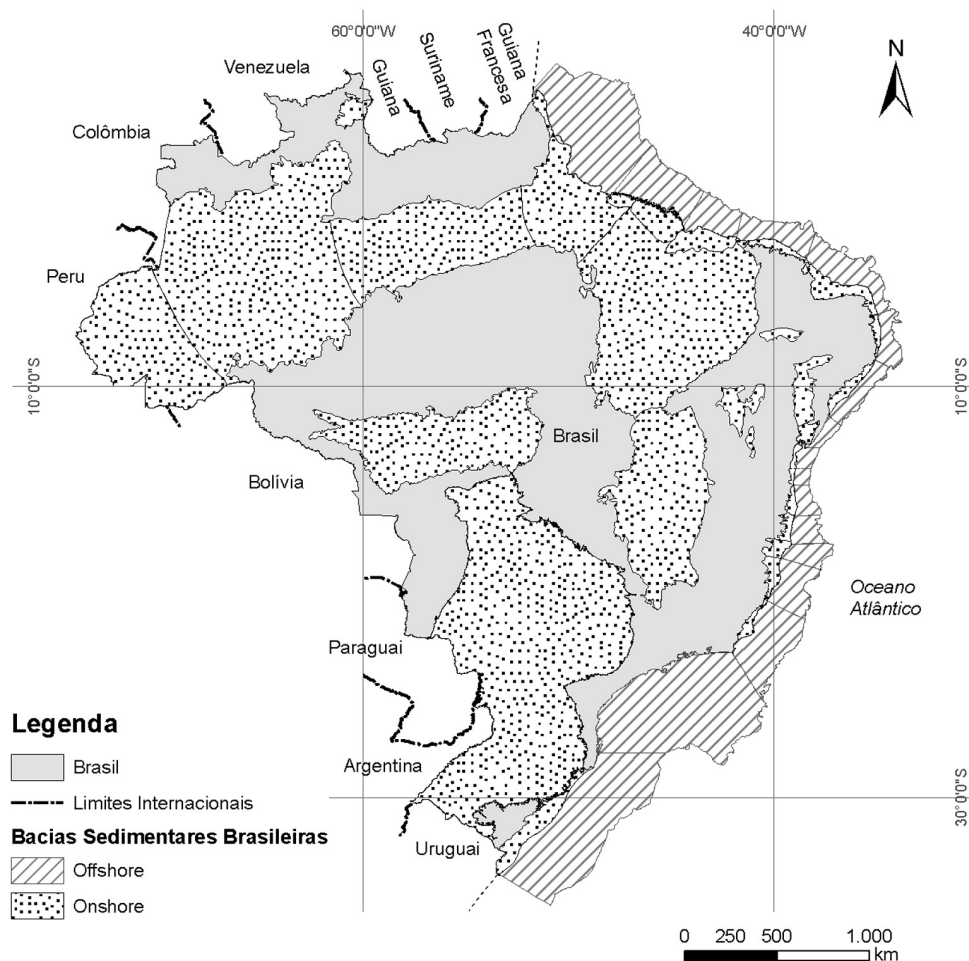


Figura 3 - Distribuição das bacias sedimentares existentes no território brasileiro

(adaptado de MILANI et al., 2007).

Além da localização, foram inseridas no banco de dados especificidades geológicas de cada bacia sedimentar/campo de petróleo, como profundidade, espessura, porosidade, permeabilidade, área, e produção e reservas de petróleo, quando aplicável. Os dados geológicos são importantes para a identificação da qualidade dos reservatórios, bem como para estimativa da capacidade de armazenamento de CO₂ em cada bacia/reservatório, possibilitando assim, a avaliação dos locais potenciais para o armazenamento geológico de CO₂.

Transporte/Dutos

Em um projeto de sequestro geológico de CO₂, considera-se as dutovias já existentes para sua possível utilização para o transporte de CO₂; outra possibilidade é a de fazer uso das rotas de dutos já existentes para instalar dutos de CO₂ (carbodutos).

As linhas que representam o vetor dutos foram espacializadas por coleta de dados por GPS ou por vetorização com base em imagens georreferenciadas. A tabela de atributos deste *layer* contém campos como: diâmetro do duto, extensão, tipo de produto transportado, frequência e capacidade de vazão e status (em operação/manutenção/ desativado). O diâmetro do duto é importante para a estimativa da pressão em que o CO₂ deve ser transportado, tendo em vista que o mesmo deve estar no estado supercrítico. O tipo de produto transportado é importante para a avaliação da viabilidade ou não do seu uso para CO₂. A capacidade de vazão é importante para a previsão da quantidade de produto (CO₂) possível de ser transportado. O status possibilita avaliação da disponibilidade do duto para fins de transporte (em operação/planejado).

Estas informações sevem de apoio à tomada de decisão referente à necessidade de construção de um duto exclusivo para CO₂ ou a consideração do uso de rotas de dutos já existentes, para assim, reduzir os possíveis impactos envolvidos na sua construção.

Poços existentes

Uma coleta de dados referente aos poços existentes foi feita junto a órgãos como ANP (2010) e Petrobras. O *layer* de poços existentes no território brasileiro foi criado na forma de vetor pontos no formato *shapefile*. A tabela de atributos do plano de informação de poços existentes contém 7 campos, sendo eles código do poço, empresas operadoras, código das sondas, profundidade final, lâmina d'água, localização do poço (em terra ou em mar), situação dos poços. Com as informações vinculadas a cada ponto é feito o estudo prévio de viabilidade para injeção de CO₂. É importante o conhecimento da localização e situação dos poços para fins de análises de risco do armazenamento geológico de CO₂, pois possibilita a previsão de possíveis rotas de vazamento.

Análises Técnico-Espaciais

A sobreposição dos planos de informação (*overlay* – figura 4) permitiu a realização de uma análise geográfica preliminar a nível nacional acerca das áreas com maiores concentrações de emissões de CO₂, bem como a proximidade de fontes emissoras com as bacias sedimentares existentes no território nacional e infraestrutura de dutos instalada.

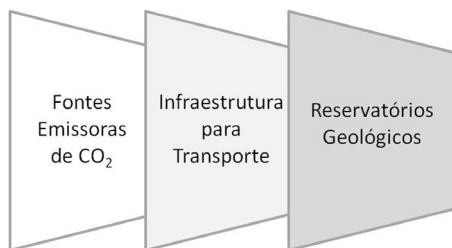


Figura 4 - Esquema representando a sobreposição dos planos de informação do SIG

Considerando-se uma distância de 300 km a partir de cada fonte emissora – considerada a distância média de viabilidade econômica para a implementação da atividade, segundo o IPCC (2005) –, análises preliminares utilizando-se a ferramenta *buffer* permitiram identificar áreas com maior potencialidade para armazenamento geológico de CO₂, levando-se em consideração a proximidade das mesmas com as bacias sedimentares. Para a criação de um *ranking* de fontes e reservatórios economicamente viáveis, foram estipuladas faixas de 50, 100, 200 e 300 km de distância a partir da localização da fonte emissora, com a ferramenta *buffer* do software ArcGIS. O detalhamento da análise a partir desta ferramenta possibilitou o cálculo das emissões por faixa de distância. O SIG permitiu também a identificação da concentração de fontes emissoras estacionárias por setor da indústria, através da classificação por categorias.

Tendo em vista a grande potencialidade da Bacia de Campos para armazenamento de CO₂ (ROCKETT, 2010), a quantidade, distribuição e tipo de poços existentes em cada campo de petróleo da Bacia também foram estimados. A estimativa foi feita através da utilização da ferramenta *clip* nos planos de informação de poços existentes no território nacional juntamente com o de campos de óleo e gás, para avaliação da possibilidade de reutilização dos mesmos para injeção de CO₂ nos campos de petróleo.

Os planos de informação estão em permanente atualização e aprimoramento, objetivando a possibilidade de análises regionais e locais mais detalhadas. Outras análises do Projeto CARBMAP serão publicadas em breve no Atlas Brasileiro de Captura, Transporte e Armazenamento de CO₂ (conforme descrito por MACHADO et al., 2010).

RESULTADOS PARCIAIS

Os resultados das análises a nível nacional mostram que as bacias sedimentares ocorrem em mais de 50% do território brasileiro. Com relação às fontes emissoras, verificou-se que as maiores emissões de CO₂ provenientes de fontes estacionárias concentram-se nas regiões sul e sudeste do país, sendo que há também emissões consideráveis no litoral da região nordeste (Figura 5).

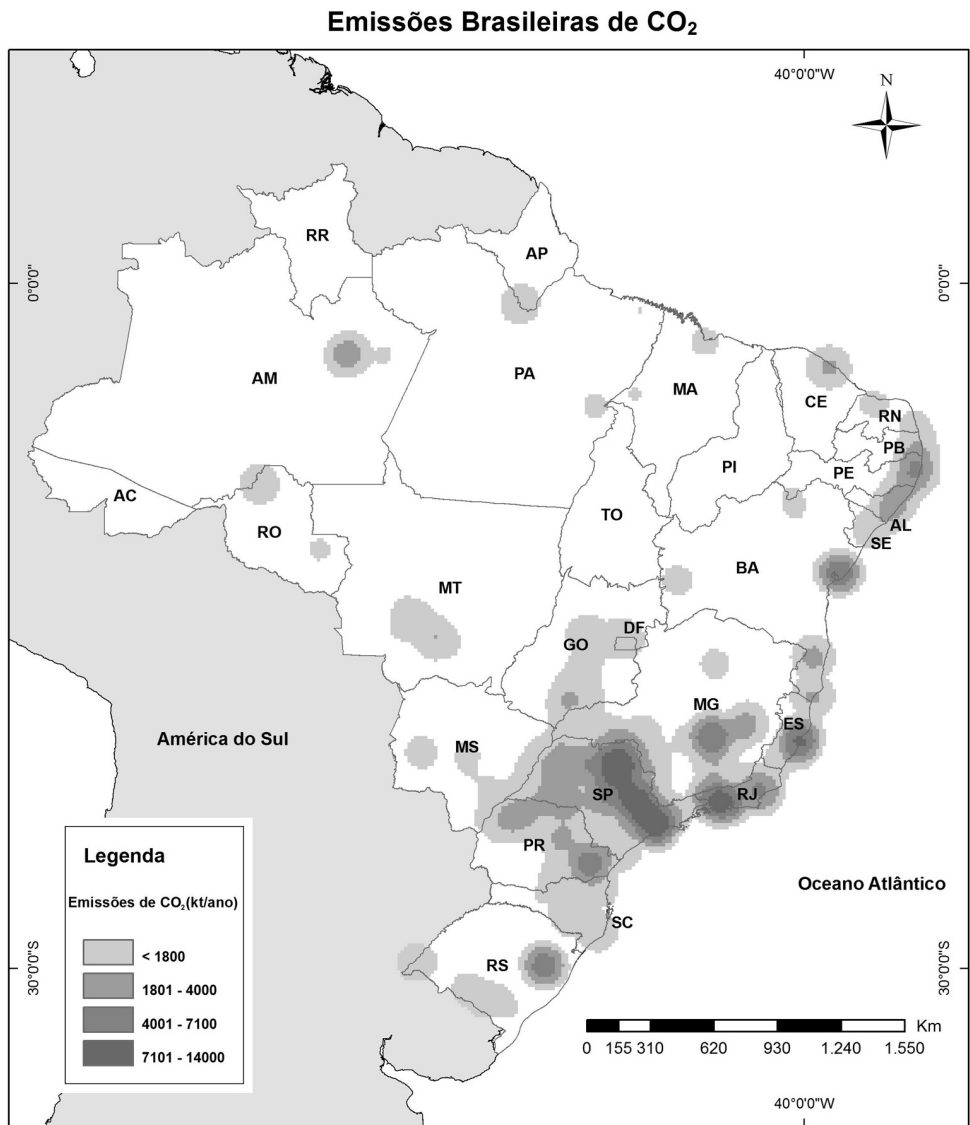


Figura 5 - Mapa Brasileiro de Densidade de Emissões de CO₂
(CEPAC/PUCRS).

Foram identificados os setores emissores de CO₂ no território brasileiro, os quais são os cimenteiras, siderúrgicas, refinarias, termelétricas, produção de etileno, produção de etanol, produção de biomassa e uma planta de produção de amônia. Mais de 50% das emissões estacionárias de CO₂ são provenientes de plantas de geração de energia (Figura 6). As plantas com maiores emissões de CO₂ (> 3.000 kt) correspondem a um reduzido número de plantas dos setores de cimento, termelétrico e siderúrgico.

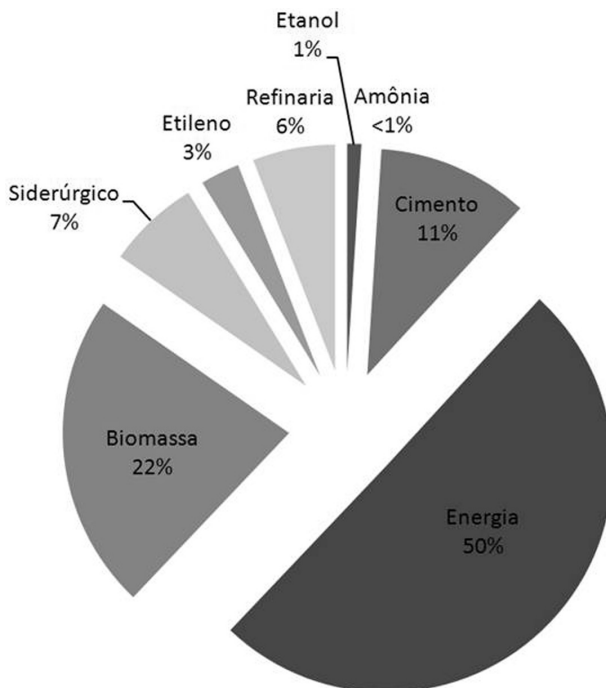


Figura 6 - Emissões brasileiras de CO₂ por setor

A análise por *overlay* mostra que grande parte das fontes emissoras encontram-se sobrepostas a áreas abrangidas pelas bacias sedimentares brasileiras, tendo em vista que o Brasil possui grande extensão de bacias sedimentares. Análise realizada também mostrou que a maioria das fontes emissoras das regiões sudeste e sul do Brasil estão associadas às Bacias do Paraná, Campos e Santos (conforme KETZER et al., 2007). A rede de dutos existentes no Brasil concentra-se na região sudeste e no litoral, sendo vantajosa para a implementação futura de carbodutos.

A nível regional, os resultados mostram que o número total de poços identificados na Bacia de Campos ultrapassa 2.500, dentre os quais poços produtores, descobridores, injetores, de extensão, especiais, secos, indefinidos e abandonados. No campo gigante de Albacora, mais de 200 poços foram identificados.

CONCLUSÕES

O Brasil é um país com grande potencial para sequestro geológico de CO₂, primeiramente pela grande extensão de bacias sedimentares existentes no território, as quais possuem estruturas adequadas para esta prática tanto em campos de petróleo quanto em aquíferos salinos e camadas de carvão. A elaboração de um sistema de informações geográficas com dados de interesse à prática de sequestro geológico de CO₂ no Brasil possibilitou a avaliação e identificação de áreas com maiores emissões de CO₂ provenientes de fontes estacionárias, bem como a proximidade das mesmas com reservatórios potenciais para a implantação desta atividade no país.

Verifica-se que as emissões de CO₂ das regiões sudeste do Brasil estão associadas às Bacias de Campos e Santos, havendo assim oportunidade da implantação de sequestro geológico de CO₂ com benefícios econômicos pela recuperação de óleo adicional decorrente desta prática, visto que as Bacias de Campos e Santos possuem campos de petróleo. Na Bacia de Campos, o grande número de poços existentes pode ser uma vantagem para a prática de armazenamento de CO₂, no sentido de redução de custos com perfuração de poços injetores.

O sistema de informações geográficas elaborado foi essencial para a avaliação do potencial brasileiro para sequestro geológico de CO₂, e de extrema importância no apoio à tomada de decisão por parte das empresas interessadas nesta atividade. O mesmo possibilita uma análise espacial detalhada e precisa, capaz de responder um grande número de questões através da integração e processamento dos dados. Análises em níveis regional e local também estão sendo realizadas para a identificação de oportunidades para sequestro geológico de carbono no Brasil.

Por fim, verifica-se que as relações geográficas e técnicas entre os elementos desta atividade são muito importantes, e em alguns casos determinantes, para o estudo de viabilidade para a implementação do sequestro geológico de carbono.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PUCRS e à PETROBRAS pelo financiamento da pesquisa e aos bolsistas de iniciação científica Reginaldo Dadalt e Wagner Oliveira pelas contribuições. Gabriela Rockett agradece ao CNPq pelo auxílio financeiro e apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2005. 243p.

ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). **Banco de Dados de Exploração e Produção**. Disponível em: <<http://www.bdep.gov.br/>>. Acesso em: fev. 2010.

AYDIN, Gokhan; KARAKURT, Izzet; AYDINER, Kerim. Evaluation of geologic storage options of CO₂: applicability, cost, storage capacity and safety. **Energy Policy**, Elsevier, v.38, p.5072–5080, 2010.

BENSON, S.M. Overview of geologic storage of CO₂. In: THOMAS, D.C.; BENSON, S.M. (Ed.). **Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geologic Formations: Results from the CO₂ Capture Project**. Londres: Elsevier Science, 2005. v.2, Cap. 1, p.665-672.

BRADSHAW, J.; DANCE, T. Mapping geological storage prospectivity of CO₂ for the world's sedimentary basins and regional source to sink matching. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREENHOUSE GAS CONTROL TECHNOLOGIES (GHGT-7), 7, Vancouver, 5-7 set. 2004. **Proceedings of the GHGT-7**... Vancouver, p.583-592.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). [BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Ed.)]. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Textos, mapas e SIG**. Brasília: CPRM, 2003. 692p.

HANSEN, James E. A slippery slope: how much global warming constitutes "dangerous anthropogenic interference?". **Climatic Change**, SpringerLink, v. 68, p.269-279, 2005.

HANSEN, James; SATO, Makiko; KHARECHA, Pushker; BEERLING, David; BERNER, Robert; MASSON-DELMOTTE, Valerie; PAGANI, Mark; RAYMO, Maureen; ROYER, Dana L.; ZACHOS, James C. Target Atmospheric CO₂: Where Should Humanity Aim? **The Open Atmospheric Science Journal**, Bentham Science, v.2, p.217-231, 2008.

HOPPE, Letícia. **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**. 2009. 112f. Dissertação (Mestrado em Economia do Desenvolvimento) – Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

HOUGHTON, J.T.; MEIRA FILHO, L. G.; GRIGGS, D.J.; MASKELL, K. (Eds). **Stabilization of Atmospheric Greenhouse Gases: Physical, Biological and Socio-Economic Implications**. Genebra: IPCC, 1997. 52p.

IEA GHG (International Energy Agency Greenhouse Gas R&D Programme). **CO₂ Emissions Database**. 2006. Disponível em: <http://www.co2captureandstorage.info/co2emissiondatabase/co2emissions.htm>.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 431 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 18p.

KETZER, J.M. Redução das emissões de gases causadores do efeito estufa através da captura e armazenamento geológico de CO₂. In: SANQUETA, C.R.; ZILIOOTTO, M.A.; CORTE, A.P.D. (Ed). **Carbono: desenvolvimento tecnológico, aplicação e mercado global**. Curitiba: UFPR, 2006. Cap. 19, p.280-293.

KETZER, J.M.; VILLWOCK, J.A.; CAPORALE, G.; ROCHA, L. H. S.; ROCKETT, G.; BRAUM, H.; GIRAFFA, L. Opportunities for CO₂ capture and geological storage in Brazil: The Carbmap Project. In: ANNUAL CONFERENCE ON CARBON CAPTURE & SEQUESTRATION, 6, Pittsburgh, 2007. **Resource Book**... Pittsburgh, 2007.

LINO, U.R.A. Case History of Breaking a Paradigm: Improvement of an Immiscible Gas-Injection Project in Buracica Field by Water Injection at the Gas/Oil Contact. In: SPE LATIN AMERICAN AND CARIBBEAN PETROLEUM ENGINEERING CONFERENCE, Rio de Janeiro, 20-23 jun. 2005. **Anais....** Rio de Janeiro, 94978-PP.

MACHADO, C. X.; KETZER, J. M. M.; ROCKETT, G. C.; CENTENO, C. I. Brazilian Atlas on CO₂ capture, transport and storage: developing methodology. In: RIO OIL&GAS EXPO AND CONFERENCE 2010, Rio de Janeiro, 13-16 set. 2010. **Anais...** Rio de Janeiro: IBP.

MEEHL, G.A.; WASHINGTON, W.M.; COLLINS, W.D.; ARBLASTER, J.M.; HU, A.; BUJA, L.E.; STRAND, W.G.; TENG, H. How Much More Global Warming and Sea Level Rise? **Science**, Estados Unidos, v.307, p.1769-1772, 2005.

MILANI, E.J.; RANGEL, H.D.; BUENO, G.V.; STICA, J.M.; WINTER, W.R.; CAIXETA, J.M.; NETO, O.C.P. Cartas Estratigráficas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n.2, p.183-205, 2007.

ROCKETT, G.C. **Associação de fontes emissoras e reservatórios potenciais para armazenamento geológico de CO₂ na Bacia de Campos, Brasil**. 2010. 202f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais), Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ROCKETT, G.C. **Transformações na paisagem geográfica com a implantação de dutovias: analogia com carodutos para seqüestro geológico de CO₂**. 2008. 135p. Monografia (Bacharelado em Geografia), Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas – Departamento de Geografia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Recebido em março de 2011

Aceito em maio de 2011

