



Estudo da interação rocha-fluido com ênfase no armazenamento de CO₂ em formações geológicas e tratamento de biogás de aterros

Study of rock-fluid interaction with emphasis on CO₂ storage in geological formations and landfill biogas treatment



Submetido em 13.02.17 | Aceito em 11.04.17 | Disponível on-line em 25.04.18

Alessandra Lee Barbosa Firmo* e **Camila Freire Nunes**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco | * alessandra.lee@gmail.com

Katia Botelho Torres Galindo, Deodório Barbosa de Souza e Leonardo José do Nascimento Guimarães

Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

A crise ambiental enfrentada pelo mundo pode ter sua origem na crescente emissão de gases poluentes para a atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), que contribuem para o “efeito estufa”. Em um curto período de tempo recursos não renováveis produziram grandes concentrações de poluentes, precursores de diversos problemas ambientais enfrentados pela humanidade. Diante disso, a necessidade de se obter fontes de energias renováveis mais viáveis e eficazes se torna urgente e o biogás consiste em uma alternativa a esses problemas. Esta pesquisa consistiu na possibilidade de se purificar o biogás a partir de um meio poroso construído em laboratório, e avaliar as modificações físicas e químicas ocorridas na amostra quando exposta a um fluxo de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) utilizando um reator com pressão e temperatura controladas. Os resultados obtidos nestes experimentos servem como base para o desenvolvimento de novos materiais para tratamento e purificação do biogás bem como na viabilidade do armazenamento ambiental de CO₂ em formações geológicas.

Palavras-chaves: *gás de aterro, meio poroso reativo, purificação de biogás.*

ABSTRACT

The environmental crisis facing the world could have its origin in the growing emission of polluting gases into the atmosphere, such as carbon dioxide (CO₂), which contribute to the "greenhouse effect". In a short time these non-renewable resources produced high concentrations of pollutants, precursors of many environmental problems facing humanity. Therefore, the need to obtain sources more viable and efficient renewable energy becomes urgent and biogas proved as an alternative to these problems. This research involved the possibility of purifying biogas from a porous medium built in the laboratory, and evaluate the physical and chemical changes occurring in the sample when exposed to a carbon dioxide flow (CO₂) and methane (CH₄) using a reactor with controlled pressure and temperature. The results obtained in these experiments serve as basis for the development of new materials for biogas treatment and purification, as well as the viability of environmental storage of CO₂ in geological formations.

Keywords: *landfill gas, reactive porous medium, biogas purification.*

1. Introdução

As mudanças climáticas globais representam um dos maiores desafios atuais da humanidade. A crescente emissão de carbono quer seja através do dióxido de carbono (CO₂), gás metano (CH₄) além de outros GEE (gases de efeito estufa), gera sérios

problemas a atmosfera do planeta. Atualmente a humanidade lança aproximadamente sete bilhões de toneladas de CO₂ por ano na atmosfera e, devido a isso, o CO₂ é o gás que mais contribui para o aquecimento global (BEEBE, 2009).

Neste sentido, o Brasil instituiu a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), por

meio da Lei nº 12.187/2009 que define o compromisso nacional voluntário de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas até 2020. Segundo o Decreto nº 7.390/2010, que regulamenta a Política Nacional sobre Mudança do Clima, a projeção de emissões de gases de efeito estufa para 2020 foi estimada em 3,236 Gt CO₂eq. Com isso, várias empresas estabeleceram objetivos e metas para a redução de emissões de GEE, sem restringir a expansão produtiva e de negócios.

Assim, existe a necessidade de estudar e desenvolver novas tecnologias e atividades para a redução de emissões desse gás, tais como o uso mais eficiente da energia, substituição dos combustíveis fósseis por outros com menor conteúdo de carbono, utilização de soluções energéticas que façam o emprego de fontes de energia renováveis e até o armazenamento do CO₂ em formações geológicas (IPCC, 2005).

Dentre essas tecnologias, destaca-se a purificação do biogás, que consiste na retirada dos gases que ocasionam algum tipo de dano à qualidade do biogás, como o CO₂ e o H₂S. No tratamento de biogás de aterros tem-se também o uso de membranas porosas para reduzir as emissões gasosas, principalmente de gases como H₂S e NH₃, não havendo o controle da emissão de CO₂. O armazenamento geológico de CO₂ consiste em capturar e imobilizar este gás em locais que não afetem os ecossistemas e não exista a possibilidade de vazamentos e, esta pode ser uma atividade capaz de realizar uma mitigação da emissão de CO₂ em nível mundial.

Outra tecnologia é o armazenamento geológico de CO₂ que consiste em capturar e imobilizar esse

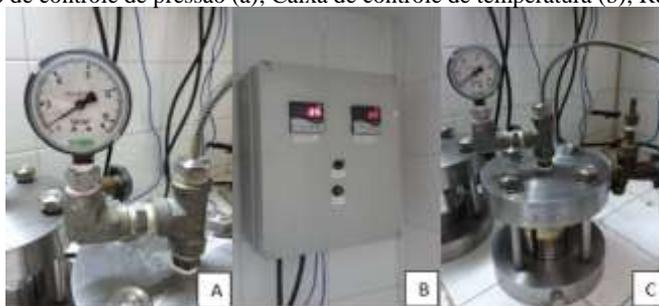
gás em locais que não afetem os ecossistemas e onde não exista a possibilidade de vazamentos. Dependendo da composição das rochas e fluidos e da evolução temporal da injeção do CO₂, as interações rocha-fluido podem ter um impacto significativo na segurança e capacidade do armazenamento (LINS *et al.*, 2012).

Assim, os objetivos desta pesquisa consistem em: (i) avaliar através de experimentos as modificações físicas e mineralógicas ocorridas em um meio poroso ou rocha submetido à injeção de CO₂; (ii) avaliar o uso de material poroso ou rocha para o tratamento do biogás e redução das emissões de aterros.

2. Metodologia

O desenvolvimento dos ensaios experimentais foi realizado no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Pernambuco e teve a finalidade de avaliar, as modificações físicas e mineralógicas ocorridas em um meio poroso submetido à injeção de CO₂, executada através do ensaio de injeção de CO₂ e CH₄ (com concentração 99,9% de pureza) no reator de inox. Para a realização desses ensaios foi necessário instrumentar e adaptar uma célula de inox com capacidade de controlar temperatura e pressão adequadas para a especificidade do assunto em estudo. Neste sentido, no laboratório de instrumentação e solos da Universidade Federal de Pernambuco foi adaptado um reator de aço inoxidável AISI 304 com volume de 250 ml que permite o contato direto da rocha com fluidos gasosos. Este reator foi instrumentado com um manômetro e sistema de controle automático de temperatura (Figura 1).

Figura 1. Manômetro de controle de pressão (a); Caixa de controle de temperatura (b); Reator de inox (c).



As amostras do meio poroso utilizado nesta pesquisa consistem em um carbonato sintético e com parâmetros físicos e de resistência conhecidos com base na pesquisa de Melo *et al* (2013) e Galindo *et al* (2016), para melhor poder avaliar o seu comportamento após interação com os fluidos gasosos. O meio poroso tem na sua composição halimeda (CaCO_3), hidróxido de cálcio e areia quartzosa. A sua preparação seguiu as seguintes etapas:

I. Mistura dos materiais de composição do meio poroso (halimeda, hidróxido de cálcio e areia), com posterior colocação da mistura em uma célula de molde (figura 2A) para posterior compactação (figura 2B). Em seguida foi submetida à carbonatação durante o período de 5

minutos, para cimentação dos materiais (figura 2C).

II. Após esses procedimentos, colocou-se a célula com a amostra na estufa por um período de 24h e finalmente a extraiu com a ajuda de um extrator mecânico (figura 2D).

III. Após a extração da amostra foi necessário lixá-la (figura 2E) para que seu diâmetro (3,6 cm) (figura 2F) fosse compatível com o do reator de inox (figura 2G).

IV. Por fim, mediu-se o percentual de dióxido de carbono (CO_2) e do metano (CH_4) antes e depois do ensaio com o uso dos equipamentos geotech biogás 5.000 (figura 2H), o cromatógrafo (no primeiro ensaio não foi realizada a leitura com cromatógrafo) (figura 2I) e drager (figura 2J).

Figura 2. Mistura do material na célula de molde (a); compactação do meio poroso na prensa mecânica (b); carbonatação da amostra (c); extração da amostra (d); meio poroso lixado (e); medição do diâmetro do meio poroso (f); montagem do ensaio na célula de inox (g); equipamento utilizado para medir o percentual dos gases: geotech (h); cromatógrafo (i); drager (j).



3. Resultados e discussão

No primeiro ensaio foi injetado o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄) em um reator com pressão de 100 Kpa e temperatura de 30°C (Tabela 1). Após a realização do primeiro ensaio, foi possível observar que o percentual de CO₂ teve uma queda brusca com relação ao início do ensaio e que o CH₄ também diminuiu. Contudo, não foi possível se obter resultados precisos e satisfatórios, pois foi constatado que a pressão aplicada foi pequena, já que o gás armazenado no reator foi insuficiente para que se pudesse analisar os resultados em mais de um equipamento, tornando assim essa análise bastante variável, com isso não foi possível obter a leitura com o cromatógrafo por consequência da baixa pressão.

Em vista disso, para a realização do segundo ensaio, manteve-se a mesma temperatura (30°C) e aumentou-se a pressão para 200kpa para que ao término do ensaio se obtivesse gás suficiente para

ser analisado a partir de vários equipamentos e assim se obter um resultado mais preciso e satisfatório, como observado na Tabela 2.

Como pode ser observado, o experimento se comportou de acordo com o esperado, uma vez que o percentual de CO₂ diminuiu consideravelmente chegando a zero e, apesar de ter tido algumas variações, o teor de CH₄ se manteve o mesmo. A partir da análise do segundo ensaio, foi possível confirmar os dados obtidos no primeiro experimento, de modo que se observou que apesar da pressão aplicada na primeira tentativa ter sido pequena, não interferiu no resultado, já que se alcançou o mesmo comportamento que neste segundo experimento.

No terceiro experimento, apresentado na Tabela 3, foi inserido 100mL de água para se observar como o meio poroso se comportaria quando imerso em água e os resultados deste se assemelharam aos dos ensaios anteriores, com a diminuição do teor de CO₂

Tabela 1. Resultados do primeiro ensaio no reator de alta pressão.

Ensaio 1	
Temperatura: 30°C	Pressão: 100kpa
Peso do meio poroso antes	Peso do meio poroso depois
68,62g	69,57g
Geotech	
Antes do ensaio	Pós ensaio
CH ₄ : 58%	CH ₄ : 46,9%
CO ₂ : 40,7%	CO ₂ : 0%
O ₂ : 0,5%	O ₂ : 14,6%
CO: 0ppm	CO: 81ppm
H ₂ S: 3ppm	H ₂ S: 4ppm

Tabela 2. Resultados do segundo ensaio no reator de alta pressão.

Ensaio 2	
----------	--

Temperatura: 30°C		Pressão: 200kpa	
Peso do meio poroso antes		Peso do meio poroso depois	
63,4684g		64,1373g	
Drager			
Antes do ensaio		Pós ensaio	
CH ₄ : 63,33%		CH ₄ : 61%	
CO ₂ : 36,67%		CO ₂ : 0%	
O ₂ : 0%		O ₂ : 6,7%	
CO: 0ppm		CO: 37ppm	
H ₂ S: 0ppm		H ₂ S: 0ppm	
Geotech			
Antes do ensaio		Pós ensaio	
CH ₄ : 58%		CH ₄ : 59,3%	
CO ₂ : 40,7%		CO ₂ : 0%	
O ₂ : 0,5%		O ₂ : 6,7%	
CO: 0ppm		CO: 316ppm	
H ₂ S: 3ppm		H ₂ S: 18ppm	
Cromatógrafo			
Antes do ensaio		Pós ensaio (medição 1)	
CH ₄ :		CH ₄ : 78,29%	
CO ₂ :		CO ₂ : 21,71%	
Antes do ensaio		Pós ensaio (medição 2)	
CH ₄ :		CH ₄ : 75,83%	
CO ₂ :		CO ₂ : 24,17%	

Tabela 3. Resultados do terceiro ensaio no reator de alta pressão.

Ensaio 3		
Temperatura: 30°C		Pressão: 200kpa
		Água: 100ml
Peso do meio poroso antes		Peso do meio poroso depois
64,9120g		77,784g
Drager		
Antes do ensaio		Pós ensaio
CH ₄ : 56%		CH ₄ : 52%
CO ₂ : 44%		CO ₂ : 1,8%
O ₂ : 0%		O ₂ : 8,7 (A1)
CO: 0ppm		CO: 38 (A1)
H ₂ S: 0ppm		H ₂ S: 0ppm
Geotech		
Antes do ensaio		Pós ensaio
CH ₄ : 58%		CH ₄ : 52,9%
CO ₂ : 40,7%		CO ₂ : 2,5%
O ₂ : 0,5%		O ₂ : 7,9%
CO: 0ppm		CO: 352ppm
H ₂ S: 3ppm		H ₂ S: 19ppm

Com o término dos ensaios pôde se observar que os resultados esperados foram alcançados, pois houve a diminuição do percentual de CO₂ e os valores do percentual de CH₄ não obtiveram variações significativas. Sendo assim, pode-se observar que o meio poroso tem a capacidade de armazenar o dióxido de carbono e manter ou aumentar o poder calorífico do biogás, de modo que seja possível purificar o biogás para aumentar o seu poder calorífico, bem como armazenar o CO₂ para a diminuição da emissão dos gases do efeito estufa. Essa tecnologia inovadora se difere de muitas outras técnicas de purificação, como por exemplo, do método da lavagem de gás.

Existem diversas técnicas de purificação do biogás. A lavagem de gás apesar de ser a mais simples e barata técnica, tem como produto final a emissão do dióxido de carbono na atmosfera, contribuindo para o efeito estufa, diferente da técnica estudada nessa pesquisa, no qual o CO₂ é armazenado de modo que possa auxiliar na mitigação dos efeitos do agravamento do efeito estufa.

Um método de purificação já existente e que se assemelha ao desse estudo é o de adsorção. Nesse método, o biogás é inserido no fundo do reservatório e devido às diferenças de pressões, o material adsorvente fixa o CO₂ na parte sólida. Posteriormente, quando o material adsorvido está completamente saturado de dióxido de carbono, o biogás é levado para uma segunda etapa na qual a pressão se eleva e o CO₂ será retirado do material adsorvente, limpando-o, obtendo assim o biogás purificado.

4. Considerações Finais

O desenvolvimento de um meio poroso utilizado para o armazenamento de CO₂ e concomitantemente para a purificação do biogás pode ser uma importante estratégia para as áreas de estudo com ênfase em meio ambiente, geomecânica e ainda engenharia do petróleo.

Com base nos resultados apresentados pode-se concluir que, quando o meio poroso utilizado nesta pesquisa é submetido à temperatura ambiente e à pressão necessária para se obter resultados satisfatórios quanto à purificação de

gás, a amostra é capaz de absorver e armazenar o CO₂ que foi injetado, bem como aumentar o poder calorífico do biogás sintético que também foi introduzido no experimento. Desse modo, é possível que essa pesquisa, contribua para o desenvolvimento de um novo método para se purificar o biogás, pois além de ter tido resultados satisfatórios, alia também o armazenamento do dióxido de carbono para a diminuição da emissão dos gases do efeito estufa.

5. Referências

GALINDO, K.B.T., LINS, C. M. M. S., AMORIM, A. L., GUIMARÃES, L.J.N., SOUZA, D.B., NUNES, C. F. (2016). Estudo Experimental das Tensões e Deformações de uma Rocha Carbonática Sintética Durante a Dissolução Química. Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas – SBMR 2016 Mecânica das Rochas e Engenharia de Rochas para Inovação e Desenvolvimento, Minas Gerais, Brasil.

IPCC. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 442. 2005.

LINS, C.M.M.S., Melo, L.M.P., Oliveira, A.D., Firmo, A.L.B. and Galindo K.B.T. (2012). Analysis of the carbon dioxide (CO₂) injection in carbonate rocks. *Cientec*. v.4 (2), 84-91.

MELO, L.M.P., GUIMARÃES, L.J.N., LINS, C.M.M.S., FIRMO, A.L.B., AMORIM. A.L. (2013). Análise Numérico-Experimental de Rochas Carbonáticas Sintéticas Submetidas á Injeção de um Fluido Reativo. In: Brazilian Congress on CO₂ in the oil, gas and biofuels industries. Rio de Janeiro, 8-10 April 2013. Rio de Janeiro: Brazil.

BEEBE, N.W., COOPER, R.D., MOTTRAM, P., SWEENEY, A.W. Australia's dengue risk driven by human adaptation to climate change. *PLoS Negl Trop Dis* 2009; 3(5):e429