

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de **P&D** em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo do Comportamento Geomecânico de uma Rocha Carbonática Sintética quando submetida à injeção de um fluido reativo

AUTORES:

Katia Botelho Torres Galindo¹; Cecília Mota Silva Lins; Analice França Lima Amorim; Leonardo José do Nascimento Guimarães; Camila Freire Nunes

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

ESTUDO DO COMPORTAMENTO GEOMECÂNICO DE UMA ROCHA CARBONÁTICA SINTÉTICA QUANDO SUBMETIDA À INJEÇÃO DE UM FLUIDO REATIVO

Abstract

In the studies of oil reservoir is fundamental the knowledge of the physical properties and the geological structure of the rock that forms it, considering that these characteristics determine the regime of fluid flow in the porous medium and understanding of its mechanical behavior. In this context, the physical and chemical mechanisms in the rock-fluid interaction affects the mechanical behavior of the rock, reducing its strength when subjected to different load conditions and can thus leads to a weakening for the loss of stiffness and mechanical strength. Thus, the main objective of this research is to study the stresses and strains of a synthetic carbonate rock during the dissolution of minerals from oedometer tests in order to represent and understand the geomechanical and geochemical behavior of the rock during the dissolution of minerals. For this purpose, dissolution tests were performed using a synthetic carbonate rock by a modified oedometer cell, allowing a controlled flow of acidic solution through the pores of the sample. The dissolution tests were carried out in two steps: total dissolution and partial dissolution. From the results of the mineral dissolution test it was observed that the horizontal stress increases linearly, also observed a volumetric strain at 3.9% and 11.51% for the partial and total dissolution, respectively. Thus, this fact can lead to chemically induced compression of the reservoir, when submitted to fluid injection that can chemically interact with the porous medium.

1. Introdução

Na engenharia de reservatórios é extremamente necessário o conhecimento da estrutura geológica de determinado campo e de suas propriedades físicas, tendo em vista o impacto destas características no regime de fluxo de fluido no interior do reservatório e no entendimento do comportamento mecânico das rochas (GOMES, 2009), entre outras importantes propriedades destacam-se a porosidade, permeabilidade e a compressibilidade.

A rocha carbonática é um exemplo importante de rocha reservatório, pois cerca de 50% das reservas de petróleo do mundo estão contidos em reservatório carbonáticos (SPADINI e MARÇAL, 2005), e ainda por serem rochas porosas e permeáveis que contém hidrocarbonetos. Estes reservatórios apresentam características petrofísicas e geológicas complexas e heterogêneas, geralmente são múltiplos sistemas de porosidade que, caracteristicamente, concede heterogeneidade petrofísica aos reservatórios, devido à processos de dissolução, dolomitização e fraturamento (AHR, 2008), sendo importante para área de engenharia de reservatório o entendimento dos processos geomecânicos e geoquímicos provocados pela injeção de fluidos nestas rochas carbonáticas.

Os processos de injeção e a extração de fluidos em reservatórios pode causar dissolução do mineral, alterações de pressão, temperatura e saturação que afetam o estado de tensão, resultando em deformações na rocha reservatório, bem como alterações da permeabilidade e porosidade do meio poroso, que ocorrem devido à interação de um fluxo de fluido reativo com o meio, que provocam alterações das suas propriedades como porosidade, o que influi diretamente na sua fluidez e transporte (GUIMARÃES *et al.*, 2006). Além disso, as rochas estão sujeitas a mudanças contínuas induzidas por processos de intemperismo seja de origem natural e/ou antrópico. Tais mudanças afetam suas propriedades mecânicas, como de resistência, deformabilidade, grau de fragilidade e permeabilidade (FERNANDEZ-MERODO *et al.*, 2007).

Os processos de dissolução ou precipitação de minerais em uma rocha reservatório podem ocorrer devido à interação de um fluxo de fluido reativo com o meio, que provocam alterações das suas propriedades como porosidade, permeabilidade, pressão capilar, e distribuição dos poros, o que influi diretamente na sua fluidez e transporte. Essas interações podem acarretar problemas de fluxo multifásico, incluindo a acidificação do reservatório pelo armazenamento geológico de CO₂, recuperação avançada de petróleo ou gás e sistemas geotérmicos (RÖTTING *et al.*, 2015).

Neste contexto, esta pesquisa tem por objetivo principal estudar experimentalmente as alterações nas tensões e deformações de uma rocha carbonática sintética submetida a um fluxo ácido, a partir do ensaio edométrico, para representar e entender o seu comportamento geomecânico e geoquímico.

2. Metodologia

O desenvolvimento dos experimentos teve a finalidade de representar e entender o comportamento geomecânico e geoquímico da rocha carbonática sintética durante o processo de dissolução química sendo executado em duas etapas: (1) coleta, produção e caracterização das amostras sintéticas e (2) ensaios de dissolução na célula edométrica, projetada especialmente para medir tensões horizontais.

2.1 Coleta, e preparação das amostras

2.1.1 Coleta

A amostra carbonática sintética desta pesquisa foi preparada de acordo com Melo (2012), sendo composta de areia quartzosa e fragmentos de algas (Halimeda) (Figura 1), provenientes das praias de Itamaracá e a praia de Tamandaré, respectivamente, localizadas no estado de Pernambuco.

A Halimeda corresponde a pedaços e fragmentos calcários de algas marinhas, representando assim um importante contribuinte de calcita (CaCO₃) para a produção de rochas carbonáticas, pois as rochas carbonáticas são compostas na sua maior parte por cristais de carbonato de cálcio na forma de calcita (CaCO₃) (MELO, 2012).



Figura 1: Coleta da Halimeda

Fonte?? Sua ou de Luciana??

2.1.2 Preparação das amostras de rochas sintéticas

As amostras sintéticas utilizadas nos ensaios consistiram de uma mistura de 50% de areia quartzosa, 25% de Hidróxido de Cálcio e 25% de Halimeda. Esta mistura foi compactada a 20kN e posteriormente submetida à carbonatação direta com de dióxido de carbono, em seguida a amostra foi

colocada na estufa a 100°C por 24h. Por fim, com o auxílio da prensa hidráulica a amostra sintética foi extraída do molde, conforme apresentado na Figura 2.

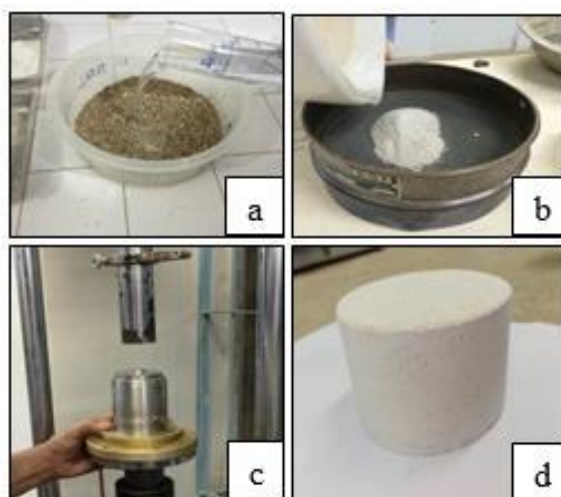


Figura 2: Preparação da amostra sintética: a) lavagem dos componentes, b) peneiramento dos componentes, c) compactação da mistura na prensa hidráulica e d) amostra sintética pronta.

2.2 Ensaios de Dissolução química

A célula edométrica utilizada nesta pesquisa permite obter valores da tensão horizontal durante os ensaios, desta forma é possível entender as consequências mecânicas da dissolução química da rocha sintética. Esta célula foi construída de acordo com Lins (2014), sendo reduzida a altura de 8 cm para 4cm, conforme sugestão do próprio autor.

A célula edométrica utilizada foi desenvolvida na Universidade Federal de Pernambuco, sendo constituída por uma liga de bronze-alumínio, constituída de um anel de confinamento com secção transversal cilíndrica com medidas de 7,0cm de diâmetro, 4,0cm de altura e 0,8mm de espessura, projetado especialmente para medir pequenas deformações radiais e tensões circunferenciais, e válvulas de entrada e saída para percolação do fluido, como representado na figura 3. As deformações horizontais serão medidas por extensômetros (*strain gages*) e as verticais pelo *LVDT*.

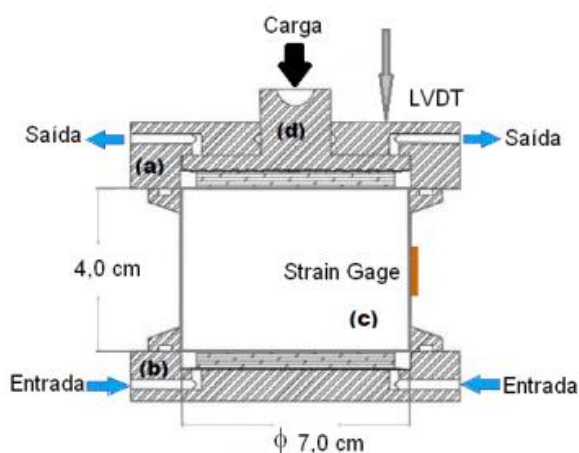


Figura 3: Ilustração da célula edométrica que é composta pela (a) parte superior e (b) inferior, (c) cilindro de confinamento da amostra, e (d) pistão para aplicação da carga (LINS, 2014).

Os ensaios de dissolução química foram realizados com o objetivo de se estudar e entender os fenômenos mecânicos e químicos durante a dissolução dos minerais na amostra sintética, podendo assim compreender o que acontece com as rochas reservatório. Os ensaios de dissolução foram realizados em duas etapas, dissolução parcial onde a amostra foi submetida a um carregamento vertical de 150 kPa e após o carregamento foi injetado um fluxo reativo de pH 3 com duração de 30 min, e a dissolução total que seguiu o mesmo procedimento porém com carregamento vertical de 400 kPa e injetado o fluxo reativo com duração de aproximadamente 6h.

3. Resultados e Discussão

3.1 Ensaio de Dissolução

De acordo com os resultados obtidos, é possível observar que a tensão horizontal efetiva na fase de carregamento não apresenta alterações expressivas (figura 4). Porém, na fase da dissolução, a tensão horizontal efetiva aumenta e após um tempo fica constante durante o ensaio, sendo mais evidentes para a carga axial de valor maior e com mais tempo de exposição ao ácido (400 kPa). Sendo verificado que a medida que a rocha é dissolvida a tensão horizontal efetiva aumenta.

Quanto a deformação volumétrica, na figura 5 também se observa que na fase de carregamento não há modificações significativas, porém quando se iniciou a fase de dissolução dos minerais, houve uma deformação da amostra de aproximadamente 11,51% e 3,90% para as cargas verticais aplicadas de 400 kPa e 150 kPa respectivamente. Constatando-se assim que durante a dissolução, tem-se a perda de massa da amostra devido a dissolução dos minerais de calcita existentes na amostra de rocha sintética.

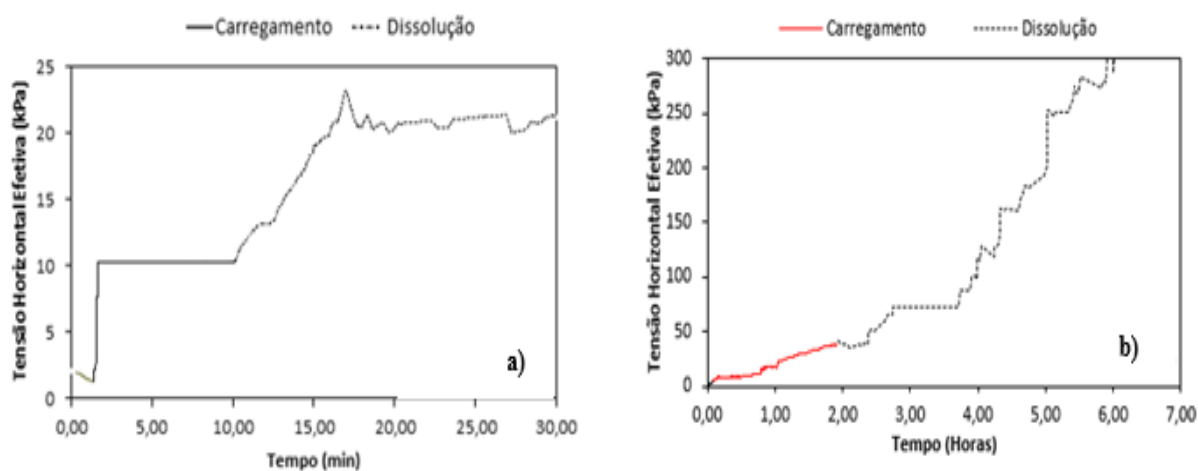


Figura 4: (a) Evolução da tensão horizontal efetiva com o tempo com carga de 150 kPa com 30min de duração, (b) Evolução da tensão horizontal efetiva com o tempo com carga de 400 kPa com 6h de duração.

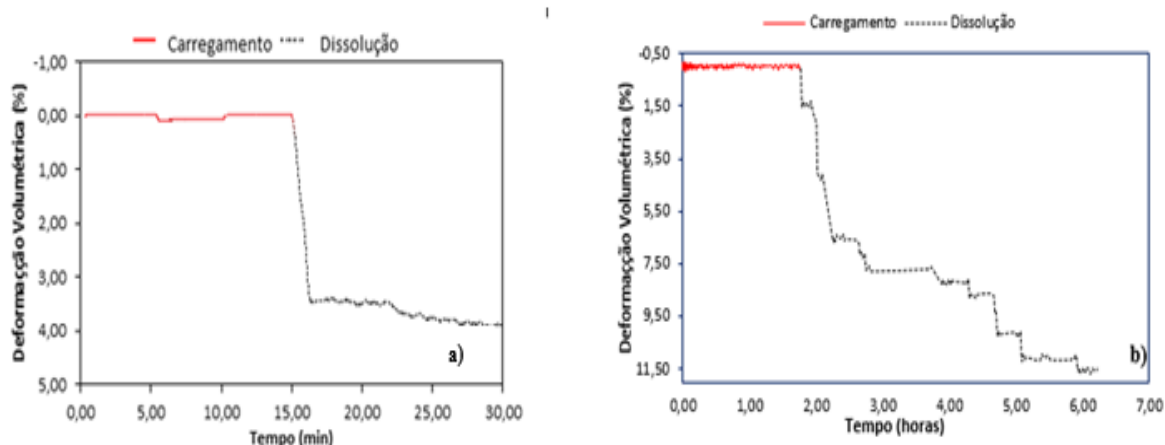


Figura 5: (a) Evolução da tensão horizontal efetiva com o tempo com carga de 150 kPa com 30min de duração, (b) Deformação volumétrica com o tempo com carga de 400 kPa com 6h de duração.

É observado que durante a fase de carregamento, a tensão horizontal efetiva aumentou devido a compressão que a carga vertical exerce na amostra de rocha sintética. Durante a dissolução dos minerais, a tensão horizontal efetiva aumenta quase progressivamente por consequência da perda de massa, de acordo com Lins (2014) esse aumento da tensão pode ser explicado pelo desenvolvimento da deformação elástica horizontal de compressão, sendo melhor apresentado no ensaio de 400 kPa, devido a maior carga vertical aplicada e maior tempo de exposição ao fluido reativo.

4. Conclusões

A dissolução das amostras de rocha carbonática sintética com uma solução de ácido acético acarretou em modificações nas propriedades físicas e geomecânicas do meio. Nos experimentos, tanto nos ensaios de dissolução parcial quanto no de dissolução total, durante a dissolução dos minerais, os valores da tensão horizontal e deformação volumétrica aumentaram em consequência da dissolução das ligações entre os grãos de calcita, bem como a diminuição desses grãos. Este processo pode ocasionar o fenômeno de compactação induzida, intemperismo pelo ataque químico e a redistribuição da tensão.

De acordo com as pesquisas que deram base a este estudo, Lins (2014) e Castellanza (2004), Merodo *et al* (2007) e Ciantia *et al* (2014), os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, em termos de representatividade do comportamento geoquímico das amostras de rochas carbonáticas sintéticas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro fornecido pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a Fundação CMG (Chair on Reservoir Simulation at UFPE).

6. Referências Bibliográficas

AHR, W. M. (2008) Summary: *Geology of Carbonate Reservoirs*, in *Geology of Carbonate Reservoirs: The Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi: 10.1002/9780470370650.ch8

RÖTTING, T.S., Luquot, L., Carrera, J., Casalnuovo, D.J., 2015. *Changes in porosity, permeability, water retention curve and reactive surface area during carbonate rock dissolution*. Chemical Geology, 403: 86-98.

LINS, C.M.M.S., Melo, L.M.P., Oliveira, A.D., Firmo, A.L.B., Galindo, K.B.T. (2012). *Analysis of the carbon dioxide (CO₂) injection on carbonate rocks*. Cientec. V4 (2): 84-91.

FERNANDEZ-MERODO. J., R. Castelanza, M. Mabsout, M. Pastor, R. Nova, & M. Parma (2007). *Coupling transport of chemical species and damage of bonded geomaterials*. Comp. & Geotechnics 34(4). 200-215.

GOMES, I. F. (2009) *Implementação em elementos finitos das equações de pressão e saturação para simulação de fluxo bifásico em reservatórios de petróleo deformáveis*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, 188 p.

CIANTIA, M., Castelanza, R., Merodo, J., e Hueckel, T., (2014). *A multiscale approach for evaluating the failure condition of calcarenite structures subject to environmental loads*. Geomechanics from Micro to Macro 939-944.

Castelanza, R., Gerolymatou, E., e Nova, R. (2009). *Experimental Observations and Modeling of Compaction Bands in Oedometric Tests on High Porosity Rocks*. Strain, 10, 1111/j.1475-1305.2008.00578.x, 410-423.

SPADINI, A. R.; Marçal, R. A.; *Porosidade em reservatórios carbonáticos: algumas considerações*. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 129-138, nov. 2004/maio 2005.

CASTELLANZA R, Nova R (2004) *Oedometric tests on artificially weathered carbonatic soft rocks*. J Geotech Geoenviron Eng ASCE 130(7):728–739

LINS, C.M.M.S, (2014) *Desenvolvimento de uma célula edométrica para estudo da evolução da tensão horizontal durante a dissolução química*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil.

GUIMARÃES L.J.N., Gens A, Sanchez M, Olivella S. (2006). *THM and reactive transport analysis of expansive clay barrier in radioactive waste isolation*. Communications in Numerical Methods in Engineering; 22(8):849–859. DOI: 10.1002/cnm.852.

NBR –ABNT-6508/84. *Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica*.

NBR- ANBT- 12025/12. *Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos- Método de ensaio*.