



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

KATIA BOTELHO TORRES GALINDO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

RECIFE
2019.1

KATIA BOTELHO TORRES GALINDO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**ANÁLISE DO EFEITO DO INTEMPERISMO QUÍMICO EM UMA
ROCHA CARBONÁTICA SINTÉTICA**

Relatório apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco Pernambuco, como pré-requisito para obtenção de nota da disciplina Estágio Supervisionado Obrigatório, sob orientação da Professora Cecília Maria Mota Silva Lins.

**RECIFE
2019.1**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

G158a Galindo, Katia Botelho Torres.
Análise do efeito do intemperismo químico em uma rocha
carbonática sintética / Katia Botelho Torres Galindo. – Recife,
2019.
23 f.: il.

Orientador(a): Cecília Maria Mota Silva Lins.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia
Agrícola e Ambiental, Recife, BR-PE, 2019.
Inclui referências.

1. Intemperismo 2. Rocha sintética 3. Edométrico modificado
I. Lins, Cecília Maria Mota Silva, orient.. II. Título

CDD 630

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

ANÁLISE DO EFEITO DO INTEMPERISMO QUÍMICO EM UMA ROCHA CARBONÁTICA SINTÉTICA

Katia Botelho Torres Galindo

Cecília Maria Mota Silva Lins

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus por ter me iluminado e me inspirado durante esta jornada, sempre me dando motivação e força. Aos meus pais, José Neto e Eliana Botelho, e minha irmã, Amanda Botelho que estiveram sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida, sempre com muito amor e união, me apoiando e sempre acreditando em mim. A Deodório Souza pelo companheirismo, carinho, motivação e amor, e momentos de descontração que me ajudaram muito durante este período. A vocês meu eterno agradecimento. A minha orientadora Cecília Lins, um agradecimento de todo meu coração, pela sua dedicação comigo, pela paciência, pelo aprendizado profissional e pessoal, pela amizade, sem sua ajuda eu não teria conseguido conciliar minhas duas vidas de pós-graduanda e graduanda. Agradeço também aos amigos que conquistei aqui na UFRPE que foram essenciais na minha jornada aqui, Martha, Ju, Karla, Taci, Kevin, Wesley, Gilbelly, Larissa e todos da turma. Aos professores da graduação que sempre compreenderam minha rotina e sempre me incentivaram, em especial professor Abelardo, Gledson e Antônio Neto. A UFPE pelo espaço disponibilizado para realizar os experimentos e a PETROBRAS pelo financiamento. À todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão desta pesquisa. Meus mais sinceros agradecimentos!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo do efeito da compactação nas rochas.....	11
Figura 2: Injeção de CO ₂ em formações geológicas.....	12
Figura 3: Mecanismo de dissolução.....	14
Figura 4: a) Mecanismo de dissolução das ligações entre os grãos; b) processo de dissolução dos grãos.....	14
Figura 5: Curva de solubilidade do CaCO ₃ em água.....	15
Figura 6: Coleta da Halimeda.....	16
Figura 7: Preparação da amostra sintética: a) lavagem dos componentes, b) peneiramento dos componentes, c) compactação da mistura na prensa hidráulica e d) amostra sintética pronta.....	17
Figura 8: 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.....	18
Figura 9: (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.....	19
Figura 10: (a) Deformação volumétrica 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.....	20

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	08
2. OBJETIVOS	09
2.1. Objetivo Geral	09
2.2. Objetivos Específicos	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1. Impacto na Rocha Reservatório devido a injeção de fluido reativo	10
3.2. Estudos do Comportamento Geomecânico e Geoquímico de Rochas – Efeitos da dissolução dos minerais na resistência das rochas carbonáticas a partir de ensaios mecânicos	13
4- METODOLOGIA	16
4.1 Coleta, e preparação das amostras	16
4.1.1 Coleta	16
4.1.2 Preparação das amostras de rochas sintéticas	17
4.2 Ensaios de Dissolução química	18
5. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	20
5.1 Ensaio de Dissolução	20
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
7. REFERÊNCIAS	22

INTRODUÇÃO

Nos estudos de um reservatório de petróleo é fundamental o conhecimento das propriedades físicas e da estrutura geológica da rocha que o constituem, tendo em vista que são essas características que determinam o regime do fluxo de fluido existentes no meio poroso e no entendimento do seu comportamento mecânico (LEVORSEN, 1967).

A rocha carbonática é um exemplo importante de rocha reservatório, pois cerca de 50% das reservas de petróleo do mundo estão contidos em reservatórios carbonáticos (SPADINI e MARÇAL, 2005), assim como são rochas porosas e permeáveis que contém hidrocarbonetos. Estes reservatórios apresentam características petrofísicas e geológicas complexas e heterogêneas, geralmente são naturalmente fraturados e exibem complexos sistemas de poros, que influenciam suas propriedades de fluxo multifásico (AHR, 2008).

Problemas de fluxo multifásico podem levar a interferências na dinâmica do fluxo de fluidos, assim como a subsidência devido à extração do petróleo e gás, dissolução, degradação, injeção e armazenamento de CO₂ (GENS, 2010).

A 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, como alterações das características físicas do meio poroso, que ocorrem devido à interação de um fluxo de fluido reativo (GUIMARÃES et al., 2009).

Adicionalmente, o armazenamento geológico de CO₂ consiste em capturar e imobilizar esse gás em locais que não afetem os ecossistemas e onde não exista a possibilidade de vazamentos. Portanto todos os processos envolvidos dependem principalmente da reatividade do gás nas condições de temperatura e pressão às quais está submetido, podendo induzir a uma complexa interação de fluxo multifásico, difusão, convecção, dissolução, precipitação e outras reações químicas (LINS, et al, 2013).

Isto é um problema acoplado onde o fluxo de fluido na rocha reservatório e o comportamento geomecânico e geoquímico da rocha estão correlacionados (GUIMARÃES et al., 2009).

Além disso, as rochas estão sujeitas à mudanças contínuas induzidas por processos de intemperismo seja de origem natural e / ou antrópico, nos quais também podem afetar suas propriedades mecânicas. Como uma das mudanças tem-se a dissolução que vem sendo estudada para explicar os processos de intemperismo químico de rochas (natural ou artificial) como resultado de processos geológicos ou de engenharia, tais como a estimulação de reservatórios de petróleo, degradação do mineral, sequestro geológico de dióxido de carbono, diagênese e dissolução/formação de hidratos (CHEN et al, 2009)

No entanto, torna-se importante para a área de engenharia de reservatório o entendimento dos processos geomecânicos e geoquímicos de forma acoplada provocados pela interação da rocha com um fluido reativo. Desta forma, trabalhos como de Castellanza (2004), Merodo et al (2007), e Lins (2014) contribuem para o estudo do comportamento complexo de solos cimentados e rochas, verificados a partir de células edométricas modificadas para avaliar as mudanças da tensão horizontal e deformação volumétrica causada pela dissolução do mineral. Explicam ainda que essa dissolução degrada as ligações cimentantes e faz com que o material ao ser solicitado com aplicação de tensões de compressão, tração e cisalhamento deforme irreversivelmente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

As atividades desenvolvidas no estágio teve por objetivo principal estudar experimentalmente as alterações das características físicas, mecânicas e de fluxo de uma rocha carbonática sintética submetida a ensaios edométricos com a injeção de um fluido reativo ácido, avaliando as alterações nas tensões e deformações da rocha após dissolução dos minerais.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudar as interações químico-mecânicas do meio poroso sintético submetido a injeção de um fluido reativo ácido a partir de experimentos utilizando uma célula edométrica modificada;

- Avaliar as tensões e deformações ocorridas na rocha sintética após submissão às diferentes tensões verticais e expostas a um fluido reativo;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Impacto na Rocha Reservatório devido a injeção de fluido reativo –

Os materiais que constituem a crosta terrestre (solos e rochas) estão sujeitos a mudanças contínuas induzidas por processos físicos e químicos de origem natural e/ou antrópico. Tais mudanças afetam suas propriedades mecânicas (resistência, deformabilidade e grau de fragilidade). Como exemplo, as interações químicas de fluidos reativos no meio poroso, decorrentes de uma variedade de processos industriais e de engenharia, tais como estimulação de reservatórios de petróleo, transporte de contaminantes ambientais, mineração, sequestro geológicos de dióxido de carbono, intemperismo químico, diagênese, e dissolução/formação de hidratos, tem forte influência sobre sua composição e evolução (CHEN et al., 2009).

Assim, os processos de dissolução de minerais resultam no enfraquecimento da rocha matriz levando à deformação dúctil ou frágil. A precipitação de minerais pode também obstruir os caminhos de fluxo através do meio poroso, aumentando a pressão local, que por sua vez, pode superar a pressão litostática e resultar em fraturas no corpo da rocha (GRADES, 2005). Esses processos podem acarretar problemas na estrutura do meio poroso, influenciando diretamente na porosidade e permeabilidade.

Na precipitação química pode ocorrer a diminuição do volume do poro, e/ou entre os grãos, bloqueando as gargantas dos poros (BICKMORE et al., 2001), na dissolução sob pressão, também chamada de compactação química, podem ocorrer vários tipos de aspectos, as quais dependem da escala do material analisado, demonstrado na Figura 1. Para que os minerais cimentantes se armazenem nos poros de uma rocha sedimentar é necessário que os fluidos intersticiais estejam supersaturados na natureza mineral correspondente, para

que existam condições cinéticas adequadas e seja viável o processo (MARTÍNEZ, 2007).

Figura 1: Exemplo do efeito da compactação nas rochas.



Fonte: adaptada GUIANNINI & RICCOCINI, 2000.

Como exemplo, Fogler e Rege (1989) abordaram um estudo teórico e experimental sobre o fluxo, dissolução, e precipitação em meios porosos. Os autores realizaram experimentos de fluxo em núcleos de carbonatos laminados usando soluções ácidas de cloreto férrico. A dissolução do carbonato pelo ácido provocou um aumento do pH da solução, precipitando assim hidróxido férrico. Este precipitado cimentou as gargantas de poros do meio e como consequência aumentou a resistência ao fluxo dos fluidos. Variações na taxa de permeabilidade foram observadas durante experimentos de saturação dos núcleos de carbonato, confirmando a formação de canais devido à dissolução e a obstrução dos poros devido à precipitação.

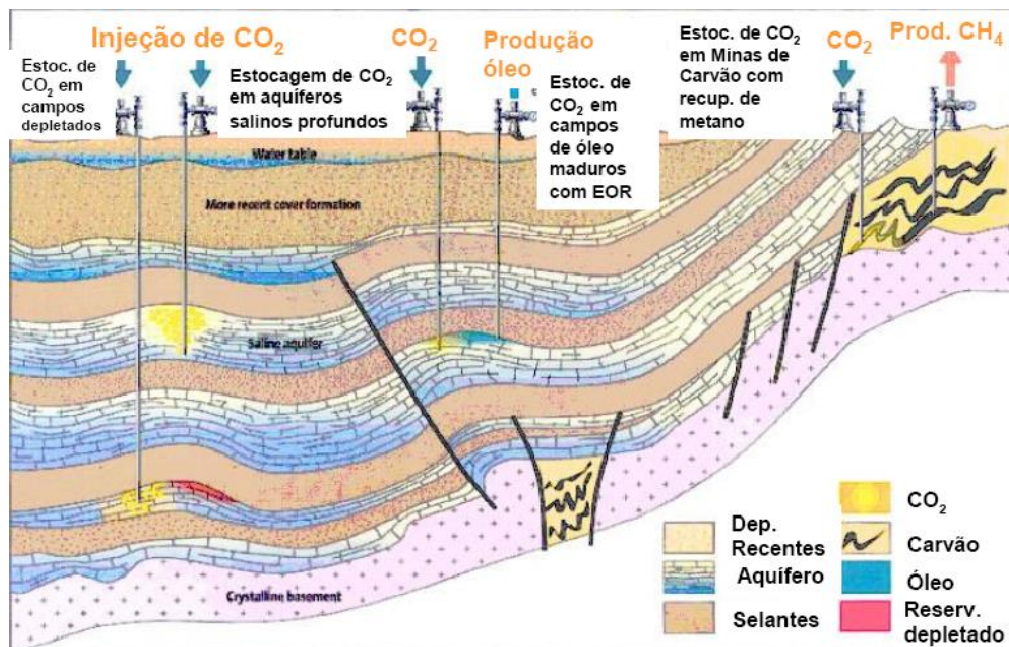
O autor Ciantia et al (2014) também avaliou em seus estudos a dissolução de rochas calcárias, em soluções ácidas. Através de ensaios experimentais edométricos (com fluxo ácido constante) e compressão simples (submerso ao fluxo ácido) foi analisado que as rochas enfraquecem devido a dissolução do mineral calcita, aumentando assim a sua concentração na solução. Esses estudos são relevantes para a mecânica de reservatório carbonático de petróleo e gás e em estudos de armazenamento de CO₂ para reservatórios carbonáticos.

O mecanismo de armazenamento geológico de CO₂ consiste em capturar e imobilizar esse gás em locais que não afetem os ecossistemas e onde não exista a possibilidade de vazamentos. Portanto a compreensão dos fenômenos microscópicos decorrentes das interações da rocha com o fluido é fundamental para alcançar uma melhor previsão dos sistemas relacionados. Quando o CO₂

é injetado em formações geológicas, tem-se ao menos o deslocamento dos fluídos contidos nos poros dessa formação, podendo ser miscível ou imiscível no fluido originalmente existente. Todos os processos envolvidos dependem principalmente da reatividade do gás nas condições de temperatura e pressão às quais está submetido, pode induzir a uma complexa interação de fluxo multifásico, difusão, convecção, dissolução, precipitação e outras reações químicas (LINS, et al., 2013).

Desta forma, para que o armazenamento de CO₂ represente uma tecnologia eficaz, os volumes armazenados devem permanecer estocados por centenas ou milhares de anos. Adicionalmente, o processo de estocagem deve ter baixo impacto ambiental, baixo custo e estar de acordo com as leis nacionais e internacionais (MORO, 2006). Este armazenamento pode ser realizado em uma variedade de ambientes geológicos, como reservatórios depleta- dos, reservatórios de minas de carvão e em aquíferos salinos profundos, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Injeção de CO₂ em formações geológicas.



Fonte: modificado DINO, 2008.

Como exemplo, a Petrobras destina investimentos expressivos ao desenvolvimento de soluções tecnológicas para atender aos desafios relacionados a captura, transporte e armazenamento geológico do CO₂ no

cenário de produção do Pré-Sal, e de outras tecnologias voltadas à mitigação da mudança do clima. Onde em 2006, foi criada a Rede Temática de Captura e Armazenamento de Carbono e Mudanças Climáticas, formada por 14 instituições científicas e tecnológicas, com o objetivo de capacitar e criar infraestrutura no País para o desenvolvimento de tecnologias de captura, transporte e armazenamento geológico de CO₂.

3.2 Estudos do Comportamento Geomecânico e Geoquímico de Rochas – Efeitos da dissolução dos minerais na resistência das rochas carbonáticas a partir de ensaios mecânicos

Os mecanismos físicos e químicos na interação rocha-fluido afetam o comportamento mecânico da rocha, diminuindo sua resistência quando submetidas às variadas condições de carregamento, podendo assim levar ao enfraquecimento pela perda de rigidez ou resistência mecânica.

Porém, a resistência e rigidez não pode ser comandada simplesmente pelo histórico de tensões e porosidade, e sim pela cimentação ou ainda ligações entre os grãos (LEROUEIL e VAUGHAN, 1990).

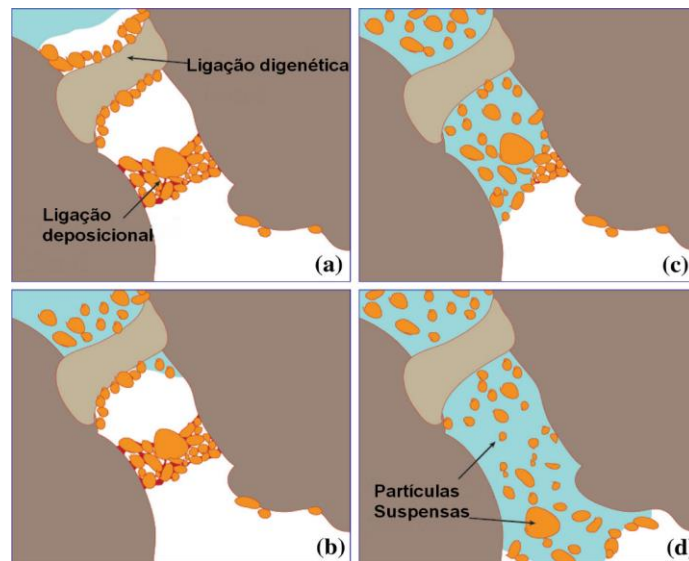
Como exemplo, as rochas carbonáticas possuem uma estrutura porosa altamente macia, caracterizada pela presença de grãos de calcita de forma irregular, aleatoriamente ligadas por pontes de calcita (FOLK, 1959). Do ponto de vista microestrutural, em as ligações entre os grãos podem ser subdivididos em duas classes (CIANTIA et al., 2014)

a) Ligações de deposição, ou seja, conjunto em forma de meniscos de partículas de calcita que se formam após a secagem;

b) Ligações de calcita diagenéticas, que são formas irregulares e, provavelmente, precipitado durante a diagênese.

A Figura 3 apresenta os mecanismos de dissolução, e como a água penetra e inunda o material e as ligações de deposição caem rapidamente em suspensão.

Figura 3: Mecanismo de dissolução

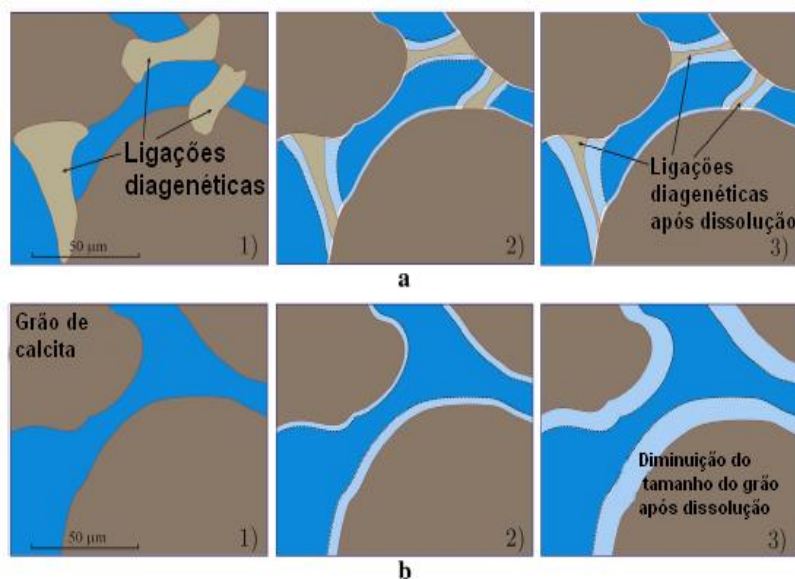


Fonte: CIANTIA *et al.*, 2014

Ciantia *et al.* (2014), explicam que se uma amostra de rocha é deixada um ano submersa na água, são observados as mesmas modificações do seu comportamento mecânico quando deixado a amostra cerca de uma hora imersa em uma solução ácida.

O mecanismo de dissolução micro estrutural pode ser observado na Figura 4. É possível observar que este mecanismo pode enfraquecer a rocha de forma que reduz as ligações diagenéticas até sua completa destruição e reduz progressivamente o tamanho dos grãos.

Figura 4: a) Mecanismo de dissolução das ligações entre os grãos; b) processo de dissolução dos grãos.

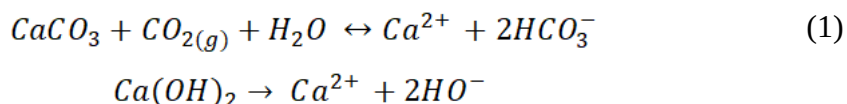


Fonte: CIANTIA *et al.*, 2014.

De um ponto de vista da engenharia, as rochas carbonáticas podem perder quase instantaneamente até 60% da sua força de compressão uniaxial após saturação com água (BRIGNOLI et al., 1995 ; PAPAMICHOS et al., 1997 ; LAGIOIA et al., 1998 ; CASTELLANZA et al., 2009 ; COLLINS e SITAR, 2009 ; ESLAMI et al., 2010, e CIANTIA et al., 2013).

As condições para ocorrer a dissolução nas rochas incluem uma combinação de diferentes processos (exemplo: ciclos de maré, mudanças de temperatura sazonais, destino de fauna e flora marinha, armazenamento geológico em plataformas de petróleo que afetam a acidez da água e etc) em longos períodos de tempo (KRAUSKOPF e BIRD, 1995). Quando a água preenche os poros durante a saturação, o material enfraquece quase instantaneamente, mas apenas até um certo grau (CIANTIA et al., 2014). No entanto, como a água se evapora, a resistência mecânica em seco é quase totalmente recuperada (CASTELLANZA et al., 2009, e CIANTIA, 2013). Por outro lado, se o material é mantido em contato com a água durante longos períodos de tempo, o enfraquecimento da estrutura sólida é atribuível à reação química de dissolução do carbonato de cálcio (CIANTIA e HUECKEL, 2013).

O mecanismo clássico de dissolução do carbonato de cálcio em água se dá pela equação 1.



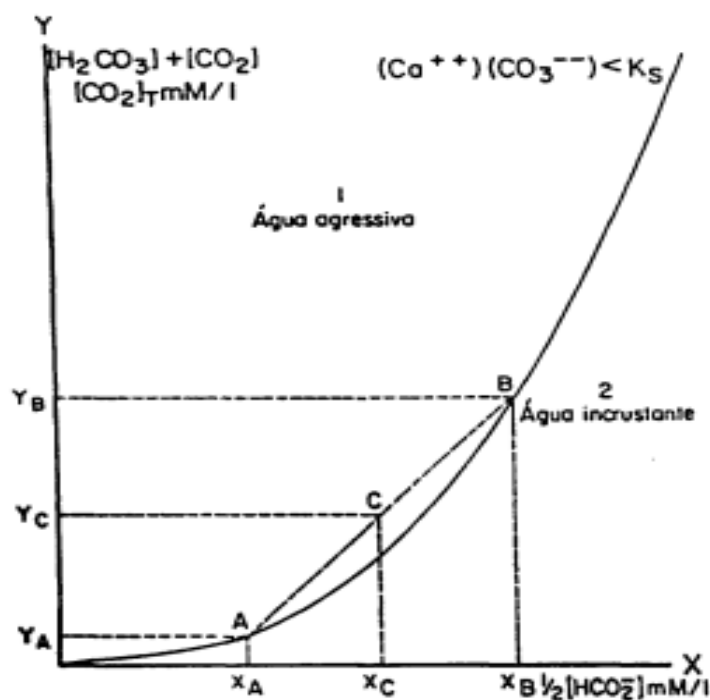
A dissolução depende da temperatura, pressão e pH, e seu conhecimento tem aplicação prática para determinar se a água é saturada ou subsaturada de CaCO₃, dando água incrustante ou agressiva. O estudo do comportamento químico do carbonato de cálcio em água apresentam relações complexas também entre os fatores, físicos e químico. E esses fatores influenciam no coeficiente de solubilidade dos minerais de cálcio da rocha. Esse mecanismo de solubilidade pode ser explicado pela constante de equilíbrio termodinâmico, demonstrado na equação 2.

$$K_c = a_{\text{Ca}^{2+}} + a_{\text{CO}_3^{2-}} \quad (2)$$

Onde K é a constante termodinâmica de equilíbrio da calcita, a atividade de equilíbrio da fase sólida (PYTKOWICZ, 1969).

No gráfico da Figura 5, observa-se a curva de solubilidade de CaCO_3 (SZIKSZAY, 1993).

Figura 5: Curva de solubilidade do CaCO_3 em água



Fonte: TILLMAN & HEUBLEIN, 1912.

Mistura de duas águas de composições diferentes (A, B) de volumes iguais, dá uma água agressiva (C).

4. METODOLOGIA

O desenvolvimento dos experimentos teve a finalidade de representar e entender o comportamento de uma 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.

4.1 Coleta, e preparação das amostras

4.1.1 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 6), 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 (CaCO_3) 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 (CaCO_3) (MELO, 2012).

Figura 6: Coleta da Halimeda.

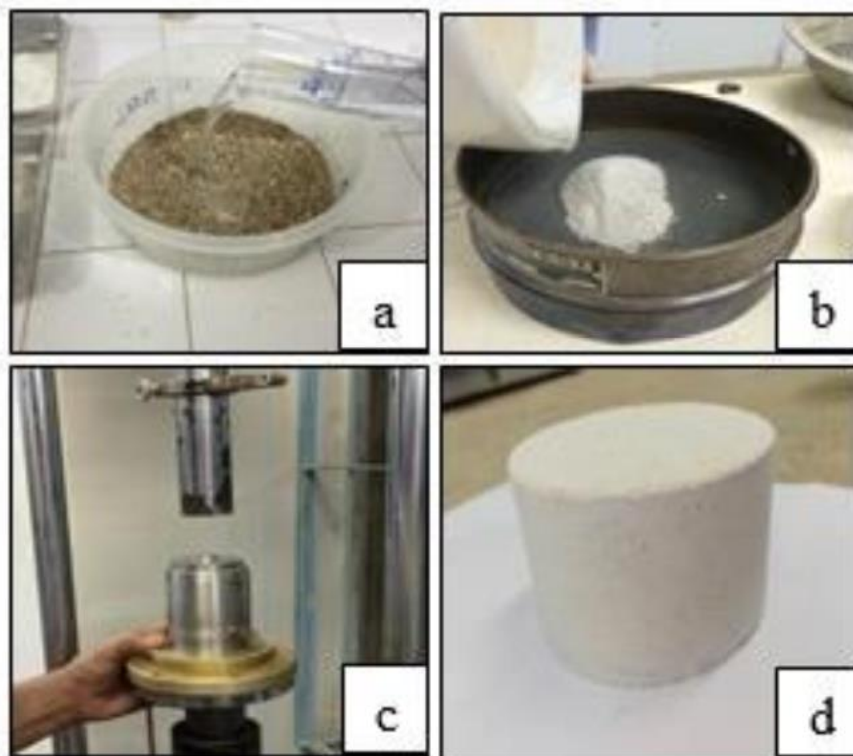


Fonte: Galindo (2016).

4.1.2 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 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 7.

Figura 7: Preparação da amostra sintética: a) lavagem dos componentes, b) peneiramento dos componentes, c) compactação da mistura na prensa hidráulica e d) amostra sintética pronta.

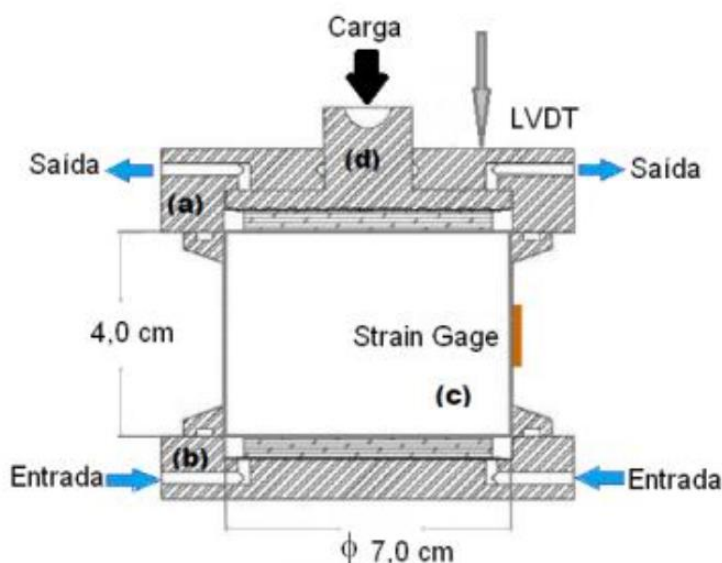


4.2 Ensaios de Dissolução química

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 8. As deformações horizontais serão medidas por extensômetros (strain gages) e as verticais pelo LVDT.

Figura 8: 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.



Fonte: adaptado 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.

5. RESULTADOS DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

5.1 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 9). 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 10 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 9: (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.

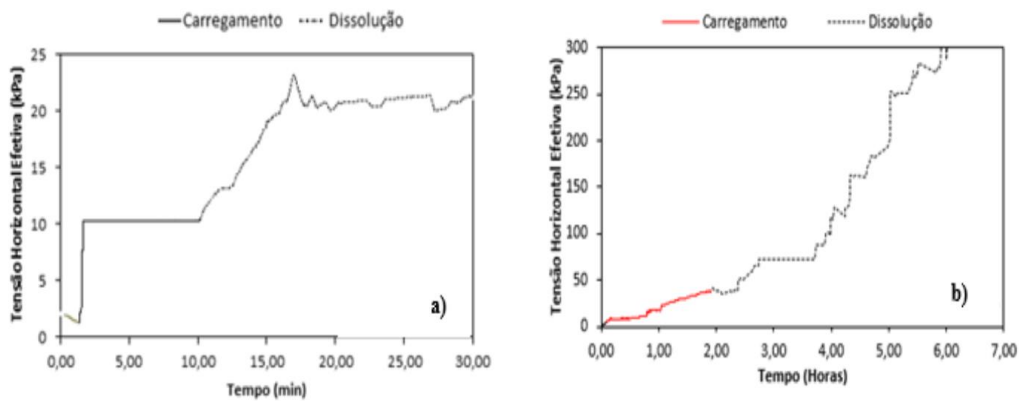
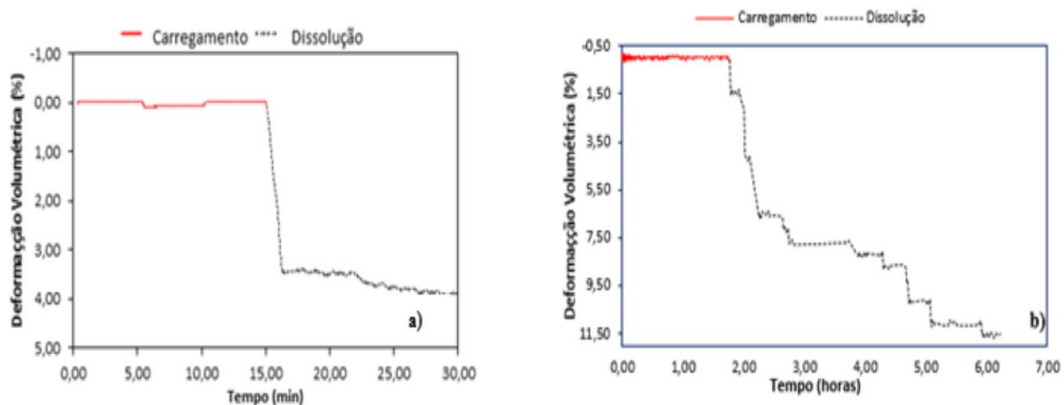


Figura 10: (a) Deformação volumétrica com o tempo com carga de 150 kPa com 30min de duração, (b) Deformação volumétrica com o tempo com carga de 400 kPa com 6h de duração.



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.

6. 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.

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

BICKMORE, B.R., Nagy, K.L., Young, J.S. and Drexler, J.W., 2001. **Nitrate-cancrinite 406 precipitation on quartz sand in simulated Hanford tank solutions**. Environ. Sci. Technol., 407 35(22): 4481-4486.

BRIGNOLI, M.G., SANTARELLI, F.J.G., PAPAMICHOS, E.G., **Efeitos capilares em rochas sedimentares: aplicativo para reservatório de água-inundação** JJ Mecânica, K. Damen, RA Schultz (Eds.), Proc. 35 US Simpósio sobre Rock, Lake Tahoe, Balkema, Rotterdam (1995), pp. 619-625.

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.

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

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.

DINO, R. (2008). **“A importância dos aquíferos salinos para o Seqüestro de Carbono no Brasil.”** Apresentação no II Seminário Brasileiro sobre Seqüestro de Carbono e Mudanças Climáticas. Maceió, Brasil.

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

GALINDO, K. B. T. (2016). **Hydro-mechanical behavior of synthetic carbonate rocks subjected to injection of a reactive fluid**. Masters dissertation. Department of Civil Engineering, Federal University of Pernambuco, Pernambuco, Brazil.

GIANNINI, P.C.F.; SAWAKUCHI, A. O.; FERNANDES, L.A.; DONNATI, L.M. 2004. **Paleofluxo sedimentar do sistema deposicional pirambóia nos estados de São Paulo e Paraná, Bacia do Paraná: estudo baseado em análise estatística de dados azimutais**. Rev. Bras. Geociências, 34(2): 282-292.

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.

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.

LAGIOIA. R., NOVA R. **Um estudo experimental e teórica do comportamento de um calcarenito em compressão triaxial** Geotecnia, 45 (4) (1995), pp. 633-648

LEROUÉIL, S.; VAUGHAN, P. R. **The general and congruente effects of structures in natural soils and weak rocks.** Geotechnique, 40(3), p. 467-488, 1990.

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.

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.

MARTÍNEZ, M. I. 2007. **Estratigrafia e Tectônica do Grupo Bambuí, no Norte do Estado de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MELO, L. M. P. (2012). **Numerical-experimental analysis of synthetic carbonate rocks submitted to the injection of a reactive fluid.** Masters dissertation. Department of Civil Engineering, Federal University of Pernambuco, Pernambuco, Brazil.

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.