

Estudos Transdisciplinares nas Engenharias

João Dallamuta
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2019

João Dallamuta

(Organizador)

Estudos Transdisciplinares nas Engenharias

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de
Oliveira Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	Estudos transdisciplinares nas engenharias [recurso eletrônico] / Organizador João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Transdisciplinares nas Engenharias; v. 1) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-355-2 DOI 10.22533/at.ed.552193005 1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Transdisciplinaridade. I. Dallamuta, João. II. Série. CDD 620
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná - Brasil

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a)

Nesta obra temos um compendio de pesquisas realizadas por alunos e professores atuantes em ciências exatas, engenharia e tecnologia. São apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de simulação, projetos e caracterização no âmbito da engenharia e aplicação de tecnologia.

Tecnologia e pesquisa de base são os pilares do desenvolvimento tecnológico e da inovação. Uma visão ampla destes temas é portanda fundamental. É esta amplitude de áreas e temas que procuramos reunir neste livro.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Optamos pela divisão da obra em dois volumes, como forma de organização e praticidade a você leitor. Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO E QUALIDADE DO BIOGÁS	
Carla Caroline Carvalho Poças	
Arlison Darlison Lima Leal	
Aroldo José Teixeira de Souza Filho	
João Areis Ferreira Barbosa Junior	
DOI 10.22533/at.ed.5521930051	
CAPÍTULO 2	6
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE ROCHAS CARBONÁTICAS QUANDO SUBMETIDAS A INJEÇÃO DE CO ₂ SUPERCRÍTICO	
Deodório Barbosa de Souza	
Katia Botelho Torres Galindo	
Analice França Lima Amorim	
Cecília Maria Mota Silva Lins	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.5521930052	
CAPÍTULO 3	17
ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE PROVENIENTE DO PROCESSO DE RECICLAGEM MECÂNICA E DO POLIESTIRENO PROVENIENTE DA DEGASAGEM DO POLIESTIRENO EXPANDIDO	
Fabiula Danielli Bastos de Sousa	
Thiago Czermainski Gonçalves Alves	
Matheus Alves Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.5521930053	
CAPÍTULO 4	31
ASSOCIAÇÃO DA FILTRAÇÃO DIRETA E USO DE COAGULANTES NATURAIS E QUÍMICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO	
Edilaine Regina Pereira	
Dandley Vizibelli	
Thaís Ribeiro	
Fellipe Jhordã Ladeia Janz	
José Euclides Stipp Paterniani	
DOI 10.22533/at.ed.5521930054	
CAPÍTULO 5	38
AUTOMATIZAÇÃO DE BRAÇO ROBÓTICO PARA COLETA EM CORPOS HÍDRICOS COM CONTAMINANTES NOCIVOS A SAÚDE HUMANA	
Louise Aimeé Reis Guimarães	
Jussiléa Gurjão de Figueiredo	
Ylan Dahan Benoliel Silva	
DOI 10.22533/at.ed.5521930055	

CAPÍTULO 6 47

AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL DE PÓRTICOS PLANOS DE AÇO PROJETADOS COM ANÁLISE AVANÇADA

Danilo Luiz Santana Mapa
Marcílio Sousa da Rocha Freitas
Ricardo Azoubel da Mota Silveira

DOI 10.22533/at.ed.5521930056

CAPÍTULO 7 62

AVALIAÇÃO DA VAZÃO DE ASPERSORES SUBMETIDOS A DIFERENTES PRESSÕES

Anderson Crestani Pereira
Adroaldo Dias Robaina
Marcia Xavier Peiter
Bruna Dalcin Pimenta
Jardel Henrique Kirchner
Wellington Mezzomo
Marcos Vinicius Loregian
Jhosefe Bruning
Luis Humberto Bahú Ben

DOI 10.22533/at.ed.5521930057

CAPÍTULO 8 70

AVALIAÇÃO DO BINÔMIO TEMPO-TEMPERATURA DE REFEIÇÕES SERVIDAS EM RESTAURANTES *SELF-SERVICE* DE PICOS-PI

Nara Vanessa dos Anjos Barros
Mateus da Conceição Araújo
Adolfo Pinheiro de Oliveira
Iraildo Francisco Soares
Ennya Cristina Pereira dos Santos Duarte
Rodrigo Barbosa Monteiro Cavalcante

DOI 10.22533/at.ed.5521930058

CAPÍTULO 9 77

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE ANTIOXIDANTES NATURAIS NA ESTABILIDADE OXIDATIVA DO BIODIESEL

Ingrid Rocha Teixeira
Jander Teixeira Peneluc
Matheus Andrade Almeida
Selmo Queiroz Almeida

DOI 10.22533/at.ed.5521930059

CAPÍTULO 10 86

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE SEVERIDADE DE SECA DE PALMER (PDSI) PARA O MUNICÍPIO DE CRUZ ALTA/RS

Suélen Cristiane Riemer da Silveira
Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra
Rita de Cássia Fraga Damé
Marcia Aparecida Simonete
Emanuele Baifus Manke
Maria Clotilde Carré Chagas Neta
Henrique Michaelis Bergmann

DOI 10.22533/at.ed.55219300510

CAPÍTULO 11 93

AVALIAÇÃO DO SUCO MISTO DE ACEROLA COM MANJERICÃO

Michele Alves de Lima
Elynne Kryslen do Carmo Barros
Clélia de Moura Fé Campos
Marilene Magalhães de Brito
Maria Márcia Dantas de Sousa
Karine Aleixes Barbosa de Oliveira
Thamires Mendonça de Carvalho
Robson Alves da Silva

DOI 10.22533/at.ed.55219300511

CAPÍTULO 12 102

COLORIMETRIA APLICADA A ESPÉCIES FLORESTAIS EM MATO GROSSO

Edilene Silva Ribeiro
Joaquim Carlos Gonzalez
William Cardoso Lima
Luzia Elaine Domingues Pimenta Vargas
Roberta Santos Souza

DOI 10.22533/at.ed.55219300512

CAPÍTULO 13 114

COMPORTAMENTO DA ALFACE COM DISTINTAS DOSAGENS DE ESTERCO CAPRINO EM DIFERENTES REGIÕES

Thaís Rayane Gomes da Silva
Marcelo Rodrigues Barbosa Júnior
Cinara Bernardo da Silva
Luan Wamberg dos Santos
Márcio Aurélio Lins dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.55219300513

CAPÍTULO 14 122

COMPORTAMENTO DA ALTURA DO CACAUEIRO SOB DIFERENTES QUANTIDADES DE ÁGUA E NITROGÊNIO

Roger Luiz Da Silva Almeida
Roger Luiz Da Silva Almeida Filho
Gustavo Victor De Melo Araújo Almeida

DOI 10.22533/at.ed.55219300514

CAPÍTULO 15 127

CORRELAÇÕES ENTRE AS TEORIAS DE EULER-BERNOULLI E DE SHI-VOYIADJIS PARA VIGAS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA E NUMÉRICA

Hilton Marques Souza Santana
Fabio Carlos da Rocha

DOI 10.22533/at.ed.55219300515

CAPÍTULO 16	144
EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA REDUÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	
Júlia Buffon Laura Cerezolli De Carli Gabriela Madella Kranz Maria Luiza Danielli Zanandréa Murilo Cesar Costelli	
DOI 10.22533/at.ed.55219300516	
CAPÍTULO 17	151
ESTUDO DA REAÇÃO DE ELETRO-OXIDAÇÃO DE GLICEROL EM MEIO ALCALINO	
Micaeli Caldas Gloria Elson Almeida de Souza Paulo José de Sousa Maia	
DOI 10.22533/at.ed.55219300517	
CAPÍTULO 18	167
ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO ECONÔMICA DO BIOGÁS DA SUINOCULTURA PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Arilson Darlison Lima Leal Carla Caroline Carvalho Poças Aroldo José Teixeira de Souza Filho João Areis Ferreira Barbosa Junior	
DOI 10.22533/at.ed.55219300518	
SOBRE O ORGANIZADOR	172

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE ROCHAS CARBONÁTICAS QUANDO SUBMETIDAS A INJEÇÃO DE CO₂ SUPERCRÍTICO

Deodório Barbosa de Souza

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

Katia Botelho Torres Galindo

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

Analice França Lima Amorim

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

Cecília Maria Mota Silva Lins

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, Brasil.

Leonardo José do Nascimento Guimarães

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

RESUMO: Diversas tecnologias estão sendo desenvolvidas para reduzir as emissões de dióxido de carbono, um dos gases apontados como causadores do aquecimento global e assim mitigar as mudanças climáticas causadas por elas, como exemplo o armazenamento do CO₂ em formações geológicas. Esta pesquisa objetiva avaliar, através de experimentos e modelos numéricos, as modificações físicas e químicas ocorridas no meio poroso das rochas carbonáticas devido à exposição ao CO₂. Foram realizados ensaios de exposição ao CO₂ supercrítico utilizando rochas carbonáticas em um reator de alta pressão, com temperatura e

pressão controlados. A partir dos ensaios foi possível verificar através das análises que a exposição ao CO₂ supercrítico ocasionou uma possível precipitação dos minerais de calcita e dolomita nas rochas, afetando a porosidade das amostras. Na simulação numérica foi possível comparar com resultados experimentais, e observar as alterações nas amostras que podem afetar diretamente a capacidade de armazenamento geológico de CO₂.

PALAVRAS-CHAVE: Exposição ao CO₂, Interação Rocha Fluido, Rocha Carbonática.

ABSTRACT: Several technologies are being developed to reduce carbon dioxide emissions, one of the gases targeted to cause global warming and thus mitigate climate change caused by them, such as the storage of CO₂ in geological formations. This research aims to evaluate, through experiments and numerical models, the physical and chemical changes occurring in the porous medium of carbonate rocks due to CO₂ exposure. Supercritical CO₂ exposure tests were carried out using carbonate rocks in a high pressure reactor with controlled temperature and pressure. From the tests it was possible to verify through the analysis that the exposure to the supercritical CO₂ caused a possible precipitation of the calcite and dolomite minerals in the rocks, affecting the porosity of the samples. In the numerical simulation it was

possible to compare with experimental results, and observe the changes in the samples that can directly affect the geological storage capacity of CO₂.

1 | INTRODUÇÃO

O cenário mundial de produção de energia tem sofrido transformações devido às pressões exercidas pela necessidade de preservação das condições ambientais, uma vez que, as principais tecnologias utilizadas atualmente para a produção de energia têm como consequência a emissão de gases de efeito estufa (GEE). Adicionalmente, com a instituição da Política Nacional sobre Mudanças do Clima (Lei Nº 12.817 / 2009), que consiste na redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes, as empresas precisaram estabelecer objetivos e metas para a redução de emissões de GEE, sem restringir a expansão produtiva. Como um exemplo nacional tem-se a PETROBRAS, que inicialmente em 2008 evitou a emissão de 680 mil toneladas de CO₂ e através da utilização de tecnologias limpas e estratégias de armazenamento geológico de CO₂, busca continuar reduzindo gradativamente a emissão de CO₂ para a atmosfera. Com a descoberta das camadas do pré-sal, novas técnicas para a redução das emissões de CO₂ estão sendo desenvolvidas, visto que a exploração e produção de petróleo nestes reservatórios proporcionarão a emissão anual de milhões de toneladas de CO₂, devido à ocorrência de concentração de 3 a 4 vezes a mais de CO₂ nos campos do pós-sal, em relação aos reservatórios explorados atualmente (PETROBRÁS, 2008).

A extração de petróleo em reservatórios profundos tem a previsão de grande produção (direta ou indireta) de CO₂, que não deveria ser emitido para a atmosfera por força da política e normas ambientais aplicadas nas empresas de gerenciamento de reservatório. 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).

Como mencionado anteriormente, o armazenamento geológico de CO₂ é uma das alternativas para diminuição da emissão desses gases na atmosfera. Porém, o armazenamento deste gás em um reservatório pode causar diferentes reações geoquímicas, tais como: precipitação, dissolução, cimentação entre outros fenômenos capazes de influenciar a permeabilidade e porosidade da rocha, aumentando ou diminuindo sua capacidade de reter CO₂.

Todos os processos envolvidos dependem principalmente da reatividade do CO₂ nas condições de temperatura e pressão às quais está submetido. Em condições normais de temperatura e pressão, o CO₂ apresenta densidade de 1.872kg/m³, sendo seu ponto crítico na temperatura de 31,1°C e pressão de 72,83 atm. Nas condições

acima do ponto crítico, o CO_2 é considerado um fluido supercrítico, ou seja, apresenta densidade de um líquido e volume de um gás, porém, é bem mais reativo que nas condições normais (LINS, et al 2012).

2 | METODOLOGIA

2.1 Coleta, caracterização e preparação das amostras

As amostras de rochas carbonáticas foram coletadas a partir de afloramentos (exposições naturais) na região de Pontas de Pedras, Pernambuco (Formação Gramame), e de Tambaba na Paraíba (Formação Tambaba). Para a coleta das amostras foram realizados os seguintes procedimentos:

(i) Primeiramente foi realizado a coleta de blocos de rochas nas regiões selecionadas, as amostras de rochas menos afetadas pelo intemperismo e pouco afetada por veios e fraturas, para melhor qualidade e melhor repetitividade nos ensaios.

(ii) Em seguida foram retirados plugues dos blocos de rochas coletados, na forma de cilindros com dimensões de 4 cm de diâmetro e 5 cm de altura (Figura 1). Algumas amostras foram utilizadas para a execução de lâminas delgadas e outras foram utilizadas para a execução dos ensaios com reator de alta pressão. A preparação das amostras, corte e extração dos corpos de prova foram realizadas nos laboratórios de laminação de rochas e de Catodoluminescência do DGEO-UFPE.



Figura 1. Preparação das amostras e extração dos plugues para os ensaios. a) Corte das amostras, b, c, extração de plugue com mandril e serra copo, e d) plugs extraídos

2.2 Ensaio de exposição de CO₂ supercrítico com reator de alta pressão

Para realizar os ensaios de exposição de CO₂ foi necessário instrumentar, adaptar e montar uma célula de aço inox para suportar altas pressões e temperaturas (Figura 2).

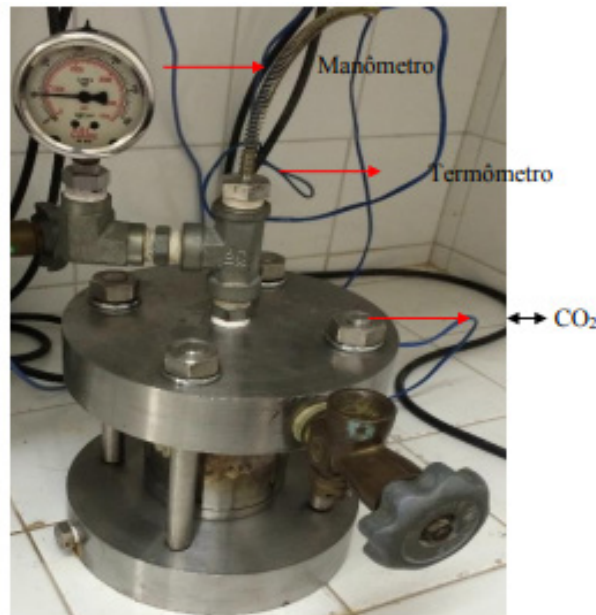


Figura 2. Reator de alta pressão e temperatura.

Os plugs com peso aproximado de 100g, foram utilizados para realização destes ensaios. O tempo de duração dos experimentos foi de 40 dias, objetivando acompanhar a frente de dissolução e/ou precipitação no meio poroso ao longo do tempo.

2.3 Análise de Petrografia e Catodoluminescência

As análises de Petrografia e Catodoluminescência foram realizadas no laboratório de Catodoluminescência da Universidade Federal de Pernambuco. Para a análise, foi utilizado um microscópio de luz transmitida normal e o equipamento de catodoluminescência, que apresenta especial aplicação para estudo de rochas carbonáticas (Figura 3). O estudo petrográfico foi realizado em lâminas delgadas, tanto em microscópio petrográfico comum, como em equipamento de catodoluminescência.



Figura 3. Microscópio Petrográfico.

Durante a análise petrográfica foi realizada uma estimativa visual da porosidade das rochas analisadas, da rocha original e da rocha que passou pelo ensaio de exposição.

2.4 Procedimento Numérico

Para a simulação numérica, foram realizados estudos numéricos visando avaliar as modificações físico-químicas e mineralógicas provocadas pela interação entre rochas carbonáticas e um fluido reativo resultante da reação entre água destilada e CO_2 em estado supercrítico. Com base no acoplamento THG (Termo-Hidro-Geoquímico) dos experimentos através do PHREEQC (PARKHURST e APPELO, 1999).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise do ensaio de injeção de CO_2 com reator de alta pressão.

Os resultados a seguir correspondem a rocha original coletada nas formações de Tambaba e Gramame, que correspondem a uma rocha com matriz dolomitizada defeito a processos diagenéticos, com um relativo conteúdo de minerais siliciclásticos, composto por cristais de quartzo e feldspatos potássicos.

Na Figura 4 mostra as amostras no reator de alta pressão antes e após ensaio. Após o ensaio, as amostras tanto da Formação Tambaba quanto da Formação Gramame, apresentaram evidência de formação de óxidos, devido a uma possível oxidação dos minerais de ferro ou ferro livre presente na solução.

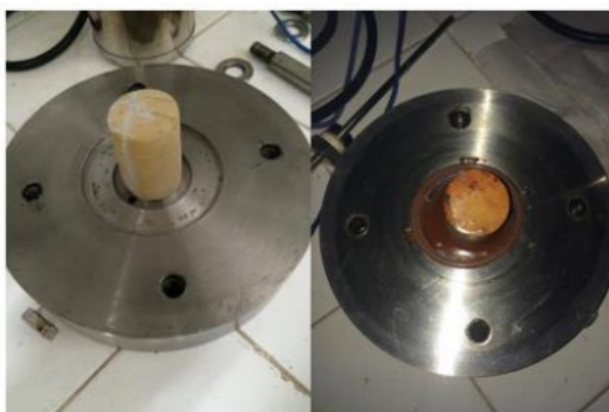


Figura 4. Amostras antes e após exposição com CO_2 .

3.2 Análise petrográfica e de Catodoluminescência das amostras do ensaio de exposição de CO_2

3.2.1 Resultados antes e após o ensaio de exposição de CO_2 da Formação Tambaba

A descrição petrográfica mostra que as rochas carbonáticas da Formação

Tambaba são compostas calcita e dolomita, além disso ocorre conteúdo de minerais siliciclásticos na forma de finos cristais de quartzo e feldspatos. Os cristais de calcita são cristais romboédricos com dimensões que chegam a atingir $20\mu\text{m}$, formando cimento esparítico. A matriz espática mostra sinais evidentes de recristalização que originou a formação de calcita blocosa, e de cristais de dolomita.

A Figura 5 apresenta uma fotomicrografia a nicóis paralelos dos calcários dolomíticos da Formação Tambaba. Pode-se observar um cristal de calcita recristalizada, indicada pela seta vermelha e cristais de dolomita rodeados por cristais de calcita esparítica indicados pelas setas pretas. A imagem também mostra porções oxidadas da matriz com coloração marrom e preto.

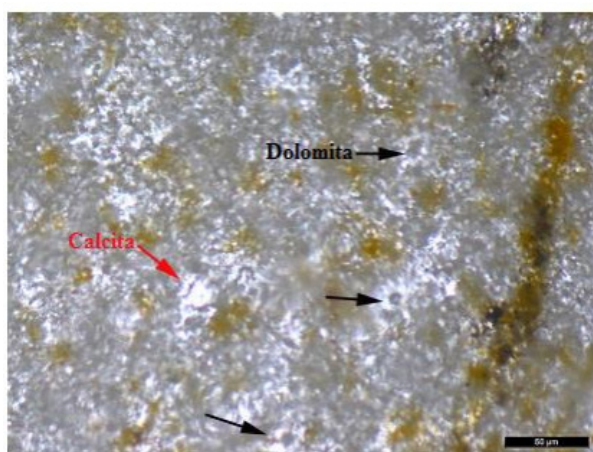


Figura 5. Fotomicrografia das análises petrográficas a nicóis paralelos da Formação Tambaba.

A figura 6 apresenta os resultados da análise petrográfica para as amostras da Formação Tamababa submetidas aos dois ensaios realizados com duração de 40 dias de exposição do gás.

A investigação dos aspectos petrofísicos, a observação realizada com base nas lâminas petrográficas sugere que os ensaios resultaram na precipitação de calcita, possivelmente a partir da solução reativa. Os cristais de calcita neo-formados formaram-se ao redor de cristais já existentes gerando um crescimento secundário. Os cristais neo-formados iniciaram o crescimento a partir de pequenas projeções romboédricas com diferentes orientações.

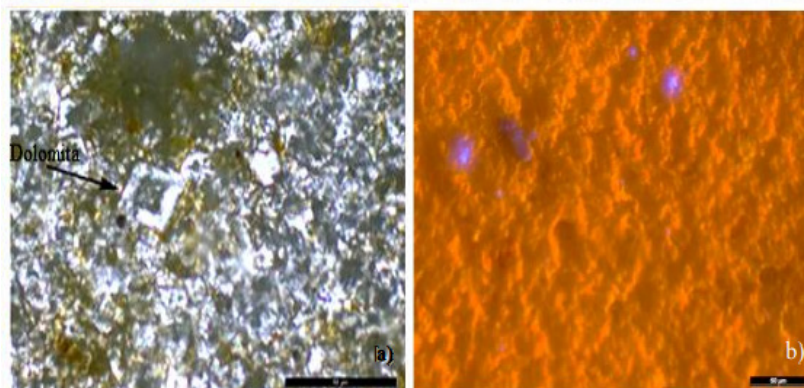


Figura 6. Fotomicrografias e Catodoluminiscência da leitura das lâminas petrográficas das amostras da Formação Tambaba após a realização dos ensaios. A) matriz formada por bioesprito, também apresentando cristais de dolomita, indicado por seta preta. As áreas escuras indicam a ocorrência de sulfeto (pirita), e de oxidação. B) A matriz original, composta por calcita bioespática apresenta coloração laranja a vermelho claro. Os finos cristais de feldspato apresentam coloração azul clara.

O estudo petrográfico, embora apresente potencial qualitativo, permitiu concluir que ocorreu um aumento estimado da porosidade em cerca de 5% em relação as amostras da rocha original não ensaiada. Isto sugere que houve a estabilização do sistema após o processo difusivo, contribuindo para uma equalização da porosidade, pH e das interações rocha-fluido.

3.2.2 Resultados antes e após ensaio de exposição de CO₂ da Formação Gramame

A análise petrográfica da amostra da Formação Gramame, mostram que a maior parte da matriz da rocha é de calcita pouco magnesianas com áreas de coloração mais escura, marrom ou vermelho, indicando a formação de cristais de dolomita. Algumas áreas mostram que houve intensa substituição da calcita por dolomita. Finos cristais de quartzo e feldspato também ocorrem na matriz calcítica.

Os cristais esbranquiçados apresentados na figura 7 refletem o grau de recristalização que a rocha sofreu durante sua diagênese. Os cristais de dolomita apresentam-se euédricos, rômnicos, com núcleos escuros e bordas claras inferindo as variações nas condições de pressão, temperatura e química nas quais se formaram. Pode-se também observar a oxidação local em torno de alguns cristais na matriz recristalizada.

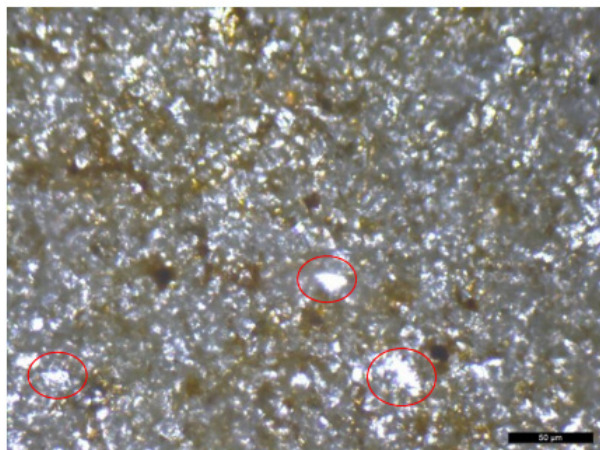


Figura 7. Fotomicrografia da análise petrográfica mostrando uma visão geral de uma seção delgada dos carbonatos da Formação Gramame.

Na Figura 8 apresenta a imagem obtida através da técnica de catodoluminescência para a amostra da Formação Gramame. Os cristais de quartzo e feldspato, apresentam formas anédricas e subédricas, com fortes cores azuis no

caso do feldspato potássico, e marrom ou escuro no caso do quartzo em geral; Estes minerais encontram-se dispersos na matriz esparítico. Os cristais azuis representam grãos de feldspato. A carbonática é marcada pelos cristais de coloração laranja escura. Esta cor indica uma alta concentração de óxidos nos constituintes essenciais da rocha, possivelmente ankerita. Ocorre um cimento mais novo de cor laranja brilhante, calcita rica em Mn. Os cristais de dolomita exibem coloração vermelho escuro a marrom, e clara conformação rombica.

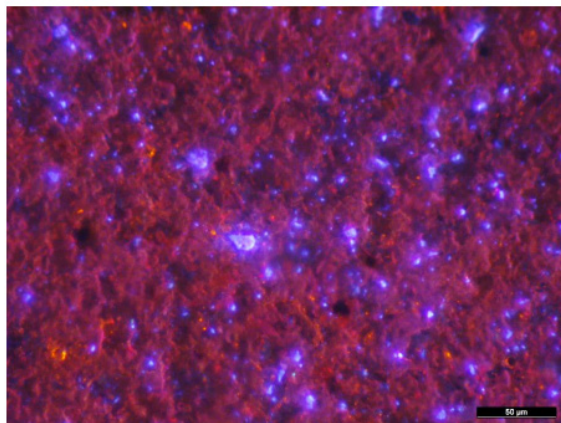


Figura 8. Catodoluminescência mostrando a imagem geral dos calcários dolomíticos da Formação Gramame.

Após a exposição com gás é possível observar que na Figura 9, obtida com a técnica de Catodoluminescência, é possível observar um grande cristal de dolomita que apresenta crescimento secundário de calcita, que aparece com coloração laranja brilhante. É possível que neste caso houve o processo de de-dolomitização, durante a diagênese tardia, que implica na substituição do cimento de dolomita por cimento de calcita. A região de zoneamento concêntrica também apresenta uma alternância entre as luminescências, com brilhos de maior e menor intensidade, sendo que esta variação refere-se à concentração diferenciada entre Mn^{2+} e Fe^{2+} . A seta amarela indica uma zona não-luminescente que sugere a ocorrência de dolomita rica em ferro (ankerita), conforme também identificado através dos difratogramas. As setas vermelhas apontam alguns cristais de dolomita espalhados no cimento esparítico (marrom escuro a laranja escuro).

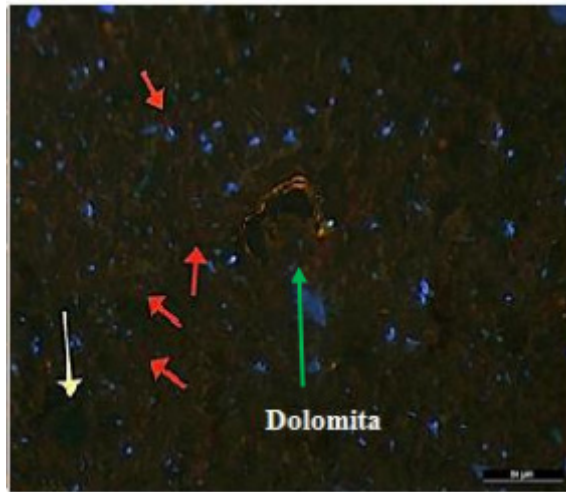


Figura 9. Fotomicrografias analisadas para as amostras da Formação Gramame após os ensaios de 40 dias obtida com a técnica de Catodoluminescência.

Foi possível verificar a precipitação de calcita, pois esses novos minerais precipitados e cristalizados ao redor de cristais já existentes geraram um crescimento secundário ou um cimento esparítico. Os novos cristais começaram a ser nucleados, preenchendo os espaços intergranulares, podendo ser cristalizados ao redor de cristais pré-existentes.

A porosidade pode variar localmente na amostra, sendo necessário uma avaliação cautelosa para que se possa definir valores efetivos. A investigação petrográfica das amostras que passaram pelo ensaio e 40 dias permitiu inferir que houve um aumento estimado de cerca de 12% em relação as amostras de rocha original não-ensaiada. Essa porosidade do tipo vugular foi observada a olho nu nos testemunhos, assim como na análise petrográfica das amostras ensaiadas. A porosidade vugular existe nessas amostras por conta dos efeitos da diagênese. Esse aumento parece muito grande para uma rocha que apresenta baixa permeabilidade.

3.3 Análise dos resultados de exposição de CO₂ no PHREEQC

Foi estipulado dados de entrada de composição de cada amostra, e foi possível observar uma redução da molalidade dos componentes em análise (Ca+2, Mg+2, HCO₃, CO₂), onde a concentração molal expressa o número de mols do soluto (rocha) existente por quilogramas de solvente (fluido reativo) sugerindo a ocorrência de dissolução e precipitação de minerais (Figura 10 a).

A Figura 10 b mostra os resultados da simulação da concentração dos minerais em solução durante o aquecimento. Como também observado nos resultados experimentais, nas Figuras 10 e 11 é possível avaliar uma redução no percentual de pirita (Disulfeto de Ferro – FeS₂) mediante um processo oxidativo. A adição de mais água e oxigênio transforma o sulfato ferroso em ácido sulfúrico que mesmo em solução fraca constitui um reagente muito eficiente que age sobre outros compostos minerais. Logo, a oxidação da pirita se constitui para as reações subsequentes. Os fenômenos de

precipitação e dissolução da rocha após contato com o fluido reativo (ácido carbônico) sugerem processos de calcitização e dolomitização, onde a princípio a reação entre os carbonatos com os elementos de Calcio (Ca) tem uma maior facilitação, como vistos nos ensaios.

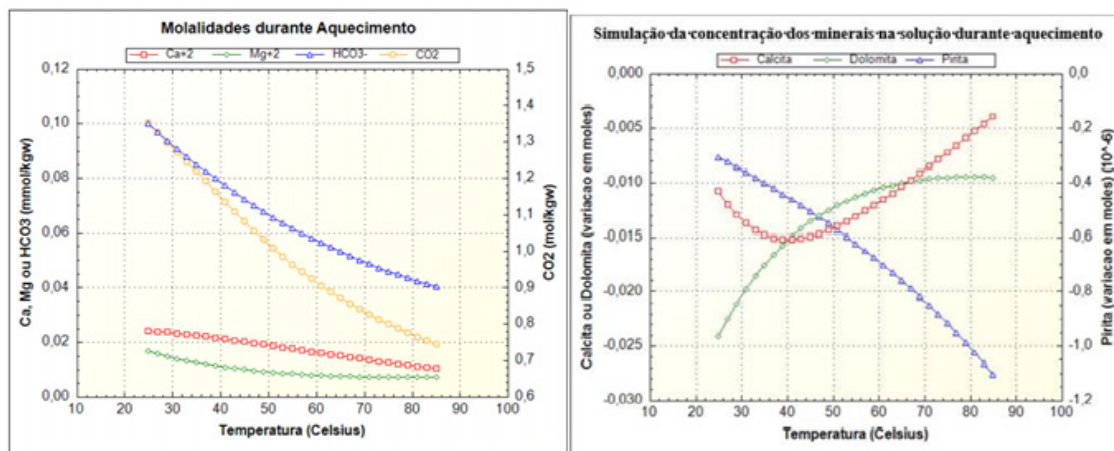


Figura 10. A) Simulação da molalidades durante aquecimento; b) Simulação da concentração dos minerais na solução durante aquecimento.

4 | CONCLUSÕES

Com o objetivo de analisar o comportamento de rochas carbonáticas sob exposição de CO₂ supercrítico, utilizou-se reatores de alta pressão com controle de temperatura e pressão.

Nas análises de petrografia e catodoluminescência, foi possível identificar que a interação rocha-fluido causou a dissolução parcial de minerais de carbonato através da acidificação da água contida nos poros em ambos os intervalos de tempo analisados. Mediante a precipitação e dissolução dos minerais, é sugerido a ocorrência de processos de calcitização e dolomitização, além de a estabilização do sistema mediante a redução da concentração de CO₂, tornando o sistema novamente em condições de equilíbrio para o carbonato.

Os resultados das simulações numéricas obtidas pelo programa PHREEQC foram satisfatórias, uma vez que validou os resultados obtidos experimentalmente, sugerindo uma possível ocorrência de processos de calcitização, dolomitização e dedolomitização após o equilíbrio químico do sistema.

REFERÊNCIAS

Appelo Caj, Postma D (2005). **Geochemistry, groundwater, and pollution** (2nd ed.). Balkema, Amsterdam p. 635. Ingold, T.S. e Miller, K.S. (1983). Drained Axisymmetric Loading of Reinforced Clay, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 109, p. 883-898.

IPCC (2005). **Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report. Carbon Dioxide Capture and Storage**: Summary for Policymakers and Technical Summary.

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.

Parkhurst, D.L. Apello, C.A.J. 1999. *User's guide to PHREEQC (version 2) - A computer program for speciation, batch-reaction, onedimensional transport, and inverse geochemical calculations.* U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259.

PETROBRÁS (2008). **Balço Social e Ambiental 2008.** Disponível em: Acessado em 26/01/2012.

SOBRE O ORGANIZADOR

João Dallamuta: Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com Gestão da Inovação, Empreendedorismo e Inteligência de Mercado.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-355-2

