

Princípios de Química

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)



Atena
Editora
Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Princípios de Química

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: Geraldo Alves
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 Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
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. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.ª Dr.ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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
Profª Drª 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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P957	Princípios de química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-422-1 DOI 10.22533/at.ed.221192406 1. Química – Estudo e ensino. I. Voigt, Carmen Lúcia. CDD 540.7
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Química é a ciência que estuda a estrutura das substâncias, a composição e as propriedades das diferentes matérias, suas transformações e variações de energia. A Química conquistou um lugar central e essencial em todos os assuntos do conhecimento humano, estando interligada com outras ciências como a Biologia, Ciências Ambientais, Física, Medicina e Ciências da Saúde.

Pesquisas na área da Química continuam evoluindo cada dia, sendo benéficas devido maior conscientização de como usar os conhecimentos químicos em prol da qualidade de vida e do desenvolvimento da sociedade; prezando pelo meio ambiente, surgindo assim processos e novas tecnologias com menor agressão e impacto.

Muitas são as fontes degradadoras da natureza, porém os resíduos químicos são considerados os mais agressivos. Ao longo dos anos inúmeros tipos de contaminantes foram lançados no meio ambiente, causando contaminação e poluição em diversos tipos de compartimentos ambientais como solos, rios e mares. O avanço e crescimento industrial no mundo é uma das principais causas da poluição excessiva e liberação de resíduos químicos.

Devido estudos na área da Química é possível realizar remoção de poluentes por diversos processos e o desenvolvimento de técnicas e materiais é abordado neste volume, que trata de processos como adsorção para retirada de contaminantes da natureza. Além destes processos, este volume também trata de novos materiais para aplicação em substituição aos polímeros convencionais, como os biopolímeros, produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, ou seja, possuem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como o petróleo o qual leva milhares de anos para se formar.

Fatores ambientais e sócio-econômicos estão relacionados ao crescente interesse por novas estratégias que buscam alternativas aos produtos e processos convencionais. Neste enfoque, os trabalhos selecionados para este volume oportunizam reflexão e conhecimento na área da Química, abrangendo aspectos favoráveis para ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PELAS BACTÉRIAS GLUCONACETOBACTER HANSENI E KOMAGATAEIBACTER RHATICUS EM MEIOS CONTENDO HIDROLISADO DE ARROZ E MILHO	
<i>Karina Carvalho de Souza</i>	
<i>Gabriela Rodrigues dos Santos</i>	
<i>Grazielly Maria Didier de Vasconcelos</i>	
<i>Paulo Henrique Marrocos de Oliveira</i>	
<i>Yêda Medeiros Bastos de Almeida</i>	
<i>Felipe Cunha da Silva Trindade</i>	
<i>Glória Maria Vinhas</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2211924061	
CAPÍTULO 2	7
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ÓRTESE SUROPODÁLICA DE MEMBRO INFERIOR PRODUZIDO COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)	
<i>Heloisa Barbara Rozario Azevedo</i>	
<i>Fabiane De Oliveira Santana</i>	
<i>Paula Hortência Santos Magalhães</i>	
<i>Maria Karoline Silva Souza</i>	
<i>Caio Cezar Neves Kunrath</i>	
<i>Menilde Araújo Silva Bião</i>	
<i>Franco Dani Rico Amado</i>	
<i>Bruno Souza Fernandes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2211924062	
CAPÍTULO 3	12
OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE DCPD COM INCORPORAÇÃO DO COPOLÍMERO F-127 PELO MÉTODO DE DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA	
<i>Pablo Eduardo Costa dos Santos</i>	
<i>Cristiane Xavier Resende</i>	
<i>Zaine Teixeira Camargo</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2211924063	
CAPÍTULO 4	19
CARBOXIMETILCELULOSE-G-OLIGO(ÓXIDO DE ETILENO-CO-ÓXIDO DE PROPILENO): EFEITO DA PORCENTAGEM DE ENXERTIA NAS PROPRIEDADES EM MEIO AQUOSO SALINO	
<i>Nívia do Nascimento Marques</i>	
<i>Rosângela de Carvalho Balaban</i>	
<i>Sami Halila</i>	
<i>Redouane Borsali</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2211924064	
CAPÍTULO 5	32
PROPRIEDADES MECÂNICAS, TERMOMECÂNICAS, REOMETRIA DE TORQUE E MORFOLOGIA DE BLENDS PS/PP/PP RECICLADO COMPATIBILIZADAS COM O COPOLÍMERO SEBS	
<i>Carlos Bruno Barreto Luna</i>	
<i>Eduardo da Silva Barbosa Ferreira</i>	

Danilo Diniz Siqueira
Edcleide Maria Araújo
Elieber Barros Bezerra

DOI 10.22533/at.ed.2211924065

CAPÍTULO 6 50

SÍNTESE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE HPAM TERMORRESPONSIVA

Bruna Luiza Batista de Lima
Nívia do Nascimento Marques
Marcos Antonio Villetti
Rosângela de Carvalho Balaban

DOI 10.22533/at.ed.2211924066

CAPÍTULO 7 58

FILME DE POLICAPROLACTONA REFORÇADOS POR MICROFIBRILAS DE CELULOSE DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart.*)

Rachel Margalho Barreira Valentim
Izael Pinho dos Santos
Victor Soares Pereira
Carmen Gilda Barroso Tavares Dias
Marcos Allan Leite dos Reis

DOI 10.22533/at.ed.2211924067

CAPÍTULO 8 64

AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE FILMES DE AMIDO REFORÇADOS COM NANOCRISTAIS DE CELULOSE DA FIBRA DE COCO VERDE

Ingrid Lessa Leal
Yasmin Carolino da Silva Rosa
Josiane Dantas Viana Barbosa
Janice Izabel Druzian
Bruna Aparecida Souza Machado

DOI 10.22533/at.ed.2211924068

CAPÍTULO 9 74

CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA E APLICAÇÃO EM FILMES DE AMIDO E QUITOSANA

Marina R. d Andrade
Taynã Isis de S. Santana
Bruna A. S. Machado

DOI 10.22533/at.ed.2211924069

CAPÍTULO 10 79

EFFECT OF BIOSURFACTANTS IN PATHOGENIC BACTERIA ADHESION ON THE SURFACE OF FLEXIBLE FILMS

Michel Zampieri Fidelis
Heitor Suyama
Eduardo Abreu
Denise Milleo Almeida
Giane Gonçalves Lenzi

DOI 10.22533/at.ed.22119240610

CAPÍTULO 11	93
UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE NA ADSORÇÃO DE GASOLINA PRESENTE EM CORPOS AQUATICOS: ESTUDO EM LEITO DIFERENCIAL	
<i>Fernanda Vieira Amorim</i>	
<i>Márcia Ramos Luiz</i>	
<i>Ewellyn Silva Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240611	
CAPÍTULO 12	105
ESTUDO DA ADSORÇÃO DE COBRE EM LODO RECUPERADO DA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DE AÇUDE POR ELETROCOAGULAÇÃO/FLOTAÇÃO	
<i>Fábio Erlan Feitosa Maia</i>	
<i>Ronaldo Ferreira do Nascimento</i>	
<i>Eliezer Fares Abdala Neto</i>	
<i>Jefferson Pereira Ribeiro</i>	
<i>Ari Clecius Alves de Lima</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240612	
CAPÍTULO 13	117
ADSORÇÃO DE CO ₂ EM MATERIAL MEOSPOROSO DO TIPO SBA-16 FUNCIONALIZADO	
<i>Táisa Cristine de Moura Dantas</i>	
<i>Eloy Sanz-Pérez</i>	
<i>Raul Sanz</i>	
<i>Amaya Arencibia</i>	
<i>Guillermo Calleja</i>	
<i>Ana Paula de Melo Alves Guedes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240613	
CAPÍTULO 14	132
CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE ARGILA BENTONITA	
<i>Riann Queiroz Nóbrega</i>	
<i>Ana Cláudia Rodrigues De Barros</i>	
<i>Lorena Lucena De Medeiros</i>	
<i>Flávio Luiz Honorato Da Silva</i>	
<i>Joelma Moraes Ferreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240614	
CAPÍTULO 15	140
AValiação DA CAPACIDADE ADSORTIVA DE ARGILA ORGANOFÍLICA ATRAVÉS DE PLANEJAMENTO FATORIAL	
<i>Paulo Henrique Almeida Da Hora</i>	
<i>Líszandra Fernanda Araújo Campos</i>	
<i>Antonio Cícero De Sousa</i>	
<i>Gesivaldo Jesus Alves De Figueiredo</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240615	

CAPÍTULO 16 147

CINÉTICA E MODELAGEM DA CAPTURA DE CO₂ POR MEIO DA REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO DO ORTOSILICATO DE LÍTIO

Suélen Maria de Amorim
Michele Di Domenico
Tirzhá Lins Porto Dantas
Humberto Jorge José
Regina de Fatima Peralta Muniz Moreira

DOI 10.22533/at.ed.22119240616

CAPÍTULO 17 157

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA ARGILA BRASGEL VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE NÍQUEL EM SISTEMA DE BANHO FINITO

Joseane Damasceno Mota
Rochelia Silva Souza Cunha
Patrícia Noemia Mota De Vasconcelos
Meiry Glaucia Freire Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.22119240617

CAPÍTULO 18 166

REMOÇÃO DO CORANTE DIRECT BLACK 22 ATRAVÉS DE ADSORÇÃO

Déborah Fernanda Mamedes da Silva
Deivid Sousa de Figueiroa

DOI 10.22533/at.ed.22119240618

CAPÍTULO 19 177

INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE SAIS NA ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO ALUMINA ATIVADA

Nathália Favarin da Silva
Enrique Chaves Peres
Guilherme Luiz Dotto

DOI 10.22533/at.ed.22119240619

CAPÍTULO 20 186

ADSORÇÃO DE ÍNDIGO CARMINE UTILIZANDO MICROESFERAS DE ALGINATO (AL) E QUITOSANA (QT) PURAS E DOPADAS COM NÍQUEL E FERRO.

Ana Clara Correia Queiroz da Silva
Francisco Mateus Gomes do Nascimento
Francisco Renan Lima Amorim
Guilherme Augusto Magalhães Júnior
Cícero Pessoa de Moura
Rafael Ribeiro Portela
Mayara Sousa de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.22119240620

CAPÍTULO 21 195

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE PENEIRA MOLECULAR ORGANOFÍLICA NA REMOÇÃO DE ÍONS CR(III)

Paulo Henrique Almeida da Hora
Lizandra Fernanda Araújo Campos
Antonio Cícero de Sousa

CAPÍTULO 22 202

BIOSSORÇÃO DE ÍONS CR(VI) EM SOLUÇÃO AQUOSA EMPREGANDO CASCA DE BANANA NANICA

Giovani Santana Silva

Ângelo Capri Neto

Maria da Rosa Capri

DOI 10.22533/at.ed.22119240622

CAPÍTULO 23 215

REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE PRESENTE EM SOLUÇÕES SINTÉTICAS DILUÍDAS EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DE ARROZ

Lúcia Allebrandt da Silva Ries

Joyce Helena da Silveira

DOI 10.22533/at.ed.22119240623

CAPÍTULO 24 227

MANAGEMENT AND CLASSIFICATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF GROUNDWATER

Sharise Beatriz Roberto

Jomar Berton Junior

Rúbia Michele Suzuki

Elton Guntendorfer Bonafé

Makoto Matsushita

Edmilson Antonio Canesin

DOI 10.22533/at.ed.22119240624

CAPÍTULO 25 242

HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMINARES PARA REMOÇÃO DE POLUENTES AQUOSOS

María Magdalena Costanzo

Rocio Belén Garate

Nora Alejandra Comelli

Nora Andrea Merino

DOI 10.22533/at.ed.22119240625

CAPÍTULO 26 253

EFEITO DO MÉTODO DE SÍNTESE NAS PROPRIEDADES DO ÓXIDO DE CÉRIO, DESTINADO A FOTOCATÁLISE

Kimberly Paim Abeta

Marie Lídio dos Santos Galvão Ribeiro

Larissa Soares Lima

Leila Maria Aguilera Campos

Sirlene Barbosa Lima

Maria Luiza Andrade da Silva

DOI 10.22533/at.ed.22119240626

CAPÍTULO 27	267
PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTIMATIVA DE INCERTEZA APLICADOS À MEDIÇÃO DE GRANDEZAS QUÍMICAS	
<i>Cassiano Lino dos Santos Costa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240627	
CAPÍTULO 28	282
O USO DE REDES SOCIAIS E TECNOLOGIA MÓVEL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO POR PROFESSORES DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA (EAD)	
<i>Eziel Cardoso da Silva</i>	
<i>Antonio Zilverlan Geermano Matos</i>	
<i>Marco Aurélio da Silva Coutinho</i>	
<i>Antônio Araújo Rodrigues</i>	
<i>Francisco Dhiêgo Silveira Figueirêdo</i>	
<i>Davi da Silva</i>	
<i>Dihêgo Henrique Lima Damacena</i>	
<i>Francisco Maycon Soares</i>	
<i>Juciane Maria de Sousa dos Santos</i>	
<i>Jose Adriano Cavalcante Alencar</i>	
<i>Enivaldo Pereira dos Santos</i>	
<i>Julianna de Sousa Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.22119240628	
SOBRE A ORGANIZADORA	292

CINÉTICA E MODELAGEM DA CAPTURA DE CO₂ POR MEIO DA REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO DO ORTOSILICATO DE LÍTIO

Suélen Maria de Amorim

Universidade Federal de Santa Catarina,
Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
Florianópolis – Santa Catarina

Michele Di Domenico

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento de Engenharia Química
Francisco Beltrão – Paraná

Tirzhá Lins Porto Dantas

Universidade Federal do Paraná, Departamento
de Engenharia Química
Curitiba – Paraná

Humberto Jorge José

Universidade Federal de Santa Catarina,
Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
Florianópolis – Santa Catarina

Regina de Fatima Peralta Muniz Moreira

Universidade Federal de Santa Catarina,
Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
Florianópolis – Santa Catarina

RESUMO: A reação de carbonatação com sólidos inorgânicos constitui uma das técnicas mais promissoras para a captura de CO₂ em altas temperaturas. Entre os sólidos mais estudados, o ortossilicato de lítio (Li₄SiO₄) se destaca principalmente devido a sua alta

capacidade de regeneração. Assim, neste trabalho, a cinética da captura de CO₂ do Li₄SiO₄ foi avaliada à pressão atmosférica, na faixa de temperatura de 500 °C a 730 °C. O adsorvente sólido foi caracterizado pelas análises de estrutura porosa, difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados da cinética de adsorção mostraram que o aumento da temperatura favorece a reação e nas maiores temperaturas, é possível capturar até 35% de CO₂ em massa, valor muito próximo à capacidade teórica máxima (36,7% em massa). Ainda, foi encontrado que o modelo duplo exponencial representa muito bem os dados experimentais de adsorção do CO₂ no ortossilicato de lítio em diferentes temperaturas. **PALAVRAS-CHAVE:** adsorção; cinética; Li₄SiO₄; modelo duplo exponencial.

ABSTRACT: The carbonation reaction with inorganic solids is one of the most promising techniques for CO₂ capture at high temperatures. Among the most studied solids, the lithium orthosilicate (Li₄SiO₄) stands out mainly due to its high regeneration capacity. Therefore, in this work, the kinetics of CO₂ capture of Li₄SiO₄ was evaluated at atmospheric pressure, in the temperature range from 500 °C to 730 °C. The solid sorbent was characterized by the analysis of porous structure, X-ray diffraction and scanning electron microscopy. The results

of the adsorption kinetics showed that the increase in temperature favors the reaction and that at high temperatures it is possible to capture up to 35% of CO₂ by mass, value close to the theoretical maximum capacity (36.7% by mass). Still, it was found that the double exponential model represents well the experimental data of CO₂ adsorption of lithium orthosilicate at different temperatures.

KEYWORDS: adsorption; kinetic; Li₄SiO₄; double exponential model.

1 | INTRODUÇÃO

Em temperatura ambiente e pressão atmosférica o dióxido de carbono é um gás incolor, inodoro além de possuir uma densidade 1,5 vezes maior que o ar. Ele está presente na atmosfera em baixas concentrações (370 ppmv ou 0,037%) e é um componente fundamental no ciclo de vida de plantas e animais (IPCC, 2005). Embora seja um constituinte do ar, inofensivo em pequenas quantidades, o CO₂ é um dos principais gases causadores do efeito estufa.

O CO₂ é subproduto de inúmeras reações que ocorrem em processos industriais. A retirada deste composto de alguns desses processos, de acordo com o princípio de *Le Chatelier*, desloca o equilíbrio da reação no sentido dos produtos, elevando assim a conversão dos reagentes (ATKINS; JONES, 2012). Além de aumentar a geração de produtos, a captura de CO₂ gera uma corrente mais pura e concentrada dos compostos desejados aumentando a eficiência.

No setor de energia, em processos como a reforma a vapor do metano e a gaseificação de carvão mineral, realizados em altas temperaturas (700 - 900 °C), as melhorias de eficiência estão essencialmente relacionadas com a redução de emissões de CO₂ (HALABI et al., 2011; DOMENICO et al., 2018). Neste caso, é necessário o desenvolvimento de métodos adequados para remover o dióxido de carbono em altas temperaturas.

A adsorção de CO₂ em sólidos inorgânicos é um processo que tem sido largamente estudado e apresenta resultados promissores (NAIR et al., 2009). Sólidos tais como as hidrotalcitas e o óxido de cálcio (FLORIN; HARRIS, 2009; CHANBURANASIRI et al., 2011; OLIVEIRA; GRANDE; RODRIGUES, 2011; CUNHA et al., 2012) we have evaluated the performance of an SMR-SERP unit (steam methane reforming sorption enhanced reaction process têm alta capacidade de captura. Entretanto, eles apresentam redução significativa dessa capacidade após vários ciclos de adsorção e/ou exigem grande quantidade de energia para sua regeneração (YIN et al., 2010). As cerâmicas de lítio, por sua vez, têm recebido especial atenção devido ao seu potencial de adsorção em uma ampla faixa de temperatura (ambiente até 650 - 710 °C) (RODRÍGUEZ-MOSQUEDA; PFEIFFER, 2010; HU et al., 2019).

Dentre os compostos a base de lítio, o ortossilicato de lítio apresenta vantagens como boa capacidade de captura (valor teórico de 36,7% em massa) de acordo com a reação de carbonatação $Li_4SiO_{4(s)} + CO_{2(g)} \leftrightarrow Li_2SiO_{3(s)} + Li_2CO_{3(s)}$, rápida cinética

de carbonatação/descarbonatação, excelente estabilidade e boas propriedades mecânicas (SEGGIANI; PUCCINI; VITOLO, 2011; WANG et al., 2011; AMORIM et al., 2016; TAKASU et al., 2018) different lithium orthosilicate based sorbents, pure and modified with potassium carbonate, obtained using amorphous and crystalline silica were prepared and characterized by scanning electron microscopy and X-ray diffraction. The CO₂ adsorption properties were investigated by thermogravimetric analysis under a flux of 4vol.% CO₂ (atmospheric pressure).

Neste trabalho, foi realizado um estudo cinético e a modelagem da reação de adsorção do CO₂ em uma amostra de ortossilicato de lítio comercial.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O ortossilicato de lítio (Li₄SiO₄) utilizado neste estudo foi produzido pela *Chemetall* e apresenta-se na forma de um pó cristalino com pureza de 97,5%. Os gases utilizados nas análises termogravimétricas foram fornecidos pela *White Martins Ltda*: nitrogênio (99,996 vol.% de pureza) e dióxido de carbono industrial.

2.2 Métodos

A área superficial do sólido foi determinada pelo método BET, e, para tanto, a isoterma de adsorção/dessorção foi obtida utilizando o equipamento Nova 2200e (*Quantachrome*). O tamanho e a morfologia das partículas foram determinados na análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando um microscópio JEOL JSM-6390LV. As fases cristalinas presentes no sólido foram encontradas por meio da análise de difração de raios X (DRX), a qual foi conduzida em um Difrátômetro X'Pert (*Philips*) com *scan* de 0,038/s e radiação de Cu K α .

Os experimentos de captura de CO₂ foram realizados no analisador termogravimétrico DTG-60 (*Shimadzu*) em duas etapas. Primeiramente, o Li₄SiO₄ foi pré-tratado com o objetivo de eliminar possíveis impurezas presentes em sua superfície. O pré-tratamento consistiu em um aquecimento com taxa de 5 °C min⁻¹ desde a temperatura ambiente até 750 °C em atmosfera de N₂. Na sequência, os experimentos isotérmicos de carbonatação foram conduzidos numa faixa de 500 a 730 °C. O fluxo de alimentação no equipamento tanto de N₂ quanto de CO₂ foi mantido constante e igual a 200 mL min⁻¹. Cada ensaio foi realizado em duplicata.

Os dados obtidos foram ajustados ao modelo matemático semi-empírico duplo exponencial (VENEGAS et al., 2007; RODRÍGUEZ-MOSQUEDA; PFEIFFER, 2010; WANG et al., 2011; QI et al., 2012) representado pela Equação (1).

$$y = A \exp^{-k_1 t} + B \exp^{-k_2 t} + C \quad (1)$$

Sendo y a porcentagem de CO_2 capturado pelo Li_4SiO_4 , t o tempo, k_1 é o fator exponencial que representa a reação química de carbonatação, k_2 é o fator exponencial que representa a reação química controlada por processos difusivos, A e B são os intervalos em que cada processo (reação química ou transferência de massa intrapartícula) controla a captura de CO_2 e C é o parâmetro que somado ao A e B no tempo igual a zero indica o ponto onde a curva intercepta o eixo y (MOSQUEDA, 2011; WANG et al., 2011; QI et al., 2012).

O ajuste do modelo foi realizado através da regressão não-linear da Equação (1), utilizando a ferramenta Solver® do Microsoft Excel® (ESTEVES, 2008). O objetivo da regressão não-linear foi estimar os parâmetros do modelo (A , B , C , k_1 e k_2) de modo a minimizar o coeficiente de determinação (R^2). As estimativas iniciais para os parâmetros A , B , C , k_1 e k_2 foram retiradas do trabalho realizado por Mosqueda (2011) que estudou a carbonatação do ortossilicato de lítio nas mesmas condições deste trabalho.

Para analisar quantitativamente a dependência das constantes cinéticas com a temperatura utilizou-se a Equação (2), conhecida como Equação de Arrhenius.

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (2)$$

Sendo k a velocidade específica da reação, k_0 o fator pré-exponencial, E a energia de ativação, R a constante universal dos gases e T a temperatura absoluta. Fazendo a linearização a Equação (2) foi possível calcular a energia de ativação referente ao processo de carbonatação.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3 Caracterização

O ortossilicato de lítio apresentou uma área superficial específica de aproximadamente $5,6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (AMORIM et al., 2016). Uma pequena área superficial pode ser um fator limitante na adsorção, uma vez que o CO_2 pode não ter acesso a toda área ativa do sólido, havendo a necessidade de difusão do gás através da camada de produto ou a difusão de íons de lítio e oxigênio até a superfície para que a reação prossiga.

De acordo com as imagens de MEV mostradas na Figura 1, o Li_4SiO_4 possui densas partículas irregulares, em alguns pontos aglomeradas, e com diferentes tamanhos, que variam até aproximadamente $350 \mu\text{m}$.

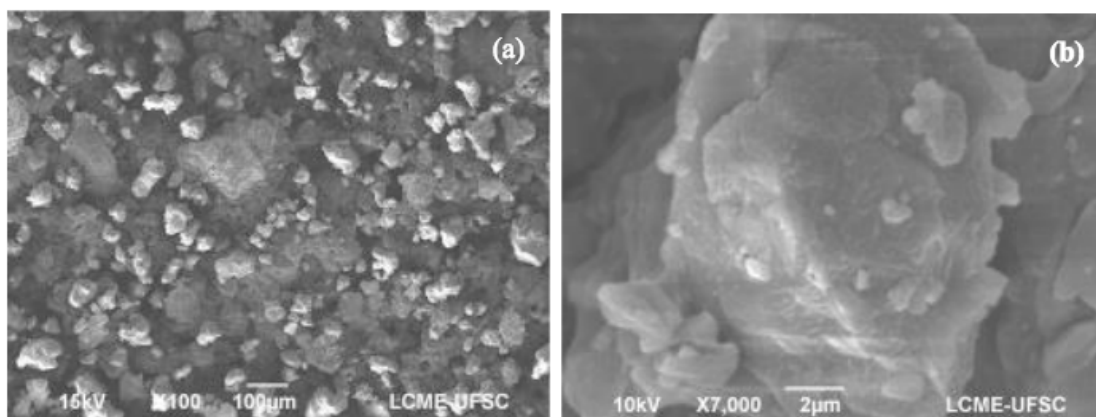


Figura 1. Imagens de MEV do Li_4SiO_4 com aproximações de 100x (a) e 7000x (b).

Os difratogramas de raios X do ortossilicato de lítio bruto e após o pré-tratamento são apresentados na Figura 2. O sólido bruto apresentou picos característicos das fases cristalinas do material (Li_4SiO_4), de metassilicato de lítio (Li_2SiO_3), de carbonato de lítio (Li_2CO_3), de hidróxido de lítio hidratado ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) e de dióxido de silício (SiO_2). A presença dos compostos cristalinos $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$, Li_2CO_3 e SiO_2 pode ser explicada pela reação do Li_4SiO_4 com água na forma de vapor conforme foi estudado por Ortiz-Landeros et al. (2011) e com dióxido de carbono conforme foi estudado por Kato et al. (2005). As reações com água e dióxido de carbono ocorrem em temperatura ambiente e de forma lenta, portanto, a sua ocorrência pode ser atribuída ao tempo que a amostra ficou armazenada.

Após o pré-tratamento (Figura 2) o sólido apresenta somente os compostos cristalinos Li_4SiO_4 e Li_2SiO_3 . Algumas impurezas detectadas na estrutura cristalina do ortossilicato de lítio bruto foram eliminadas durante o pré-tratamento, porém o metassilicato de lítio, que pode ter sido gerado durante o processo de síntese (HU et al., 2019), permanece na estrutura do sólido.

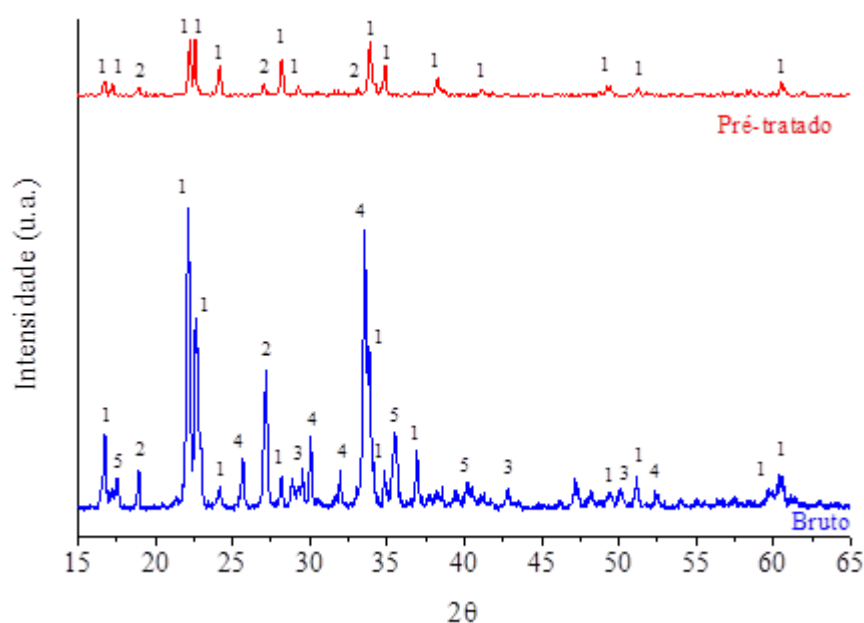


Figura 2. Difratoogramas de raios X do Li_4SiO_4 bruto e pré-tratado. Fases cristalinas identificadas: (1) Li_4SiO_4 , (2) Li_2SiO_3 , (3) Li_2CO_3 , (4) $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ e (5) SiO_2 . Fonte: Amorim et al. (2016)

3.4 Cinética e modelagem

O ajuste do modelo semi-empírico duplo exponencial, Equação (1), aos dados experimentais é mostrado na Figura 3 e os parâmetros de ajuste bem como o coeficiente de determinação obtido para cada temperatura estão dispostos na Tabela 1.

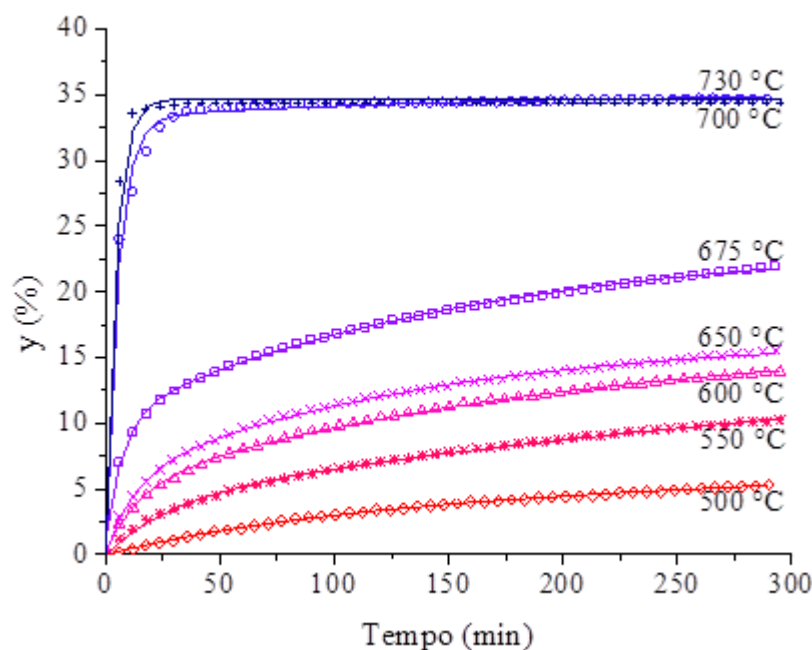


Figura 3. Ajuste do modelo duplo exponencial aos dados experimentais obtidos em diferentes temperaturas. Símbolos: dados experimentais. Linhas contínuas: ajuste.

Observa-se na Figura 3 que a cinética da reação de carbonatação é muito rápida no início, devido a reação do CO_2 na superfície exposta do ortossilicato de lítio. À medida que a reação avança a velocidade da carbonatação diminui possivelmente devido a limitações difusivas (MOSQUEDA, 2011; ORTIZ-LANDEROS et al., 2012; HU et al., 2019). Com o aumento da temperatura, a reação de carbonatação ocorre mais rapidamente e a limitação pelos processos difusivos é praticamente eliminada. A explicação para esse comportamento é a sinterização do carbonato de lítio que inicia em temperaturas próximas a temperatura de fusão deste composto cristalino. Acima de $718\text{ }^\circ\text{C}$, conforme determinado experimentalmente por Amorim et al. (2016).

Verifica-se que o modelo semi-empírico duplo exponencial representa muito bem o fenômeno de adsorção. Os valores obtidos para os parâmetros cinéticos estão de acordo com aqueles apresentados na literatura para a carbonatação do ortossilicato de lítio (MEJÍA-TREJO; FREGOSO-ISRAEL; PFEIFFER, 2008; RODRÍGUEZ-MOSQUEDA; PFEIFFER, 2010; WANG et al., 2011; QI et al., 2012). Comparando os valores das constantes obtidos, e apresentados na Tabela 1, é possível constatar

que os valores de k_1 (reação química) possuem uma ordem de magnitude maior que k_2 (reação química controlada pela difusão), exceto na temperatura de 730 °C onde a camada de carbonato de lítio encontra-se fundida. A fusão do carbonato de lítio eliminaria por completo os efeitos difusivos na camada de produtos, uma vez que a difusão de íons através de uma camada líquida ocorreria muito mais rápido do que em uma camada no estado sólido (FOGLER, 1992). Não só a difusão dos íons é mais rápida como uma camada líquida permite a difusão do dióxido de carbono gasoso até o Li_4SiO_4 não reagido conforme mecanismo proposto por Yamaguchi et al. (2007).

Os parâmetros A e B são os intervalos em que cada processo (reação química ou transferência de massa intrapartícula) controla a captura de CO_2 . Portanto, como os valores de B em módulo são maiores que A , a etapa que controla adsorção do CO_2 no ortossilicato de lítio é a difusão através da camada de produto. Nas duas maiores temperaturas, a limitação dada pelos processos difusivos é praticamente eliminada, uma vez que os valores de A aumentam significativamente enquanto os valores de B diminuem. Verifica-se também na Tabela 1 que as constantes k_1 e k_2 aumentam com a temperatura; e, para avaliar essa dependência utilizou-se a Equação de Arrhenius, Equação (2). Na Figura 4 é apresentado o gráfico de Arrhenius para as constantes k_1 (reação química) e k_2 (reação química controlada por processos difusivos) na faixa de temperatura entre 500 °C e 700 °C.

T (°C)	k_1 (s ⁻¹)	k_2 (s ⁻¹)	A	B	C	R ²
500	$1,89 \times 10^{-4}$	$1,93 \times 10^{-5}$	-3,16	-7,84	11,00	0,9989
550	$5,78 \times 10^{-4}$	$3,13 \times 10^{-5}$	-4,12	-14,67	18,79	0,9986
600	$1,12 \times 10^{-3}$	$8,50 \times 10^{-5}$	-4,78	-11,51	16,56	0,9990
650	$1,35 \times 10^{-3}$	$1,21 \times 10^{-4}$	-5,61	-10,95	16,61	0,9991
675	$2,19 \times 10^{-3}$	$1,05 \times 10^{-4}$	-9,25	-13,52	23,93	0,9980
700	$3,08 \times 10^{-3}$	$1,17 \times 10^{-4}$	-33,18	-1,90	35,08	0,9998
730	$3,69 \times 10^{-3}$	$3,69 \times 10^{-3}$	-27,69	-6,99	34,69	0,9460

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do modelo duplo exponencial.

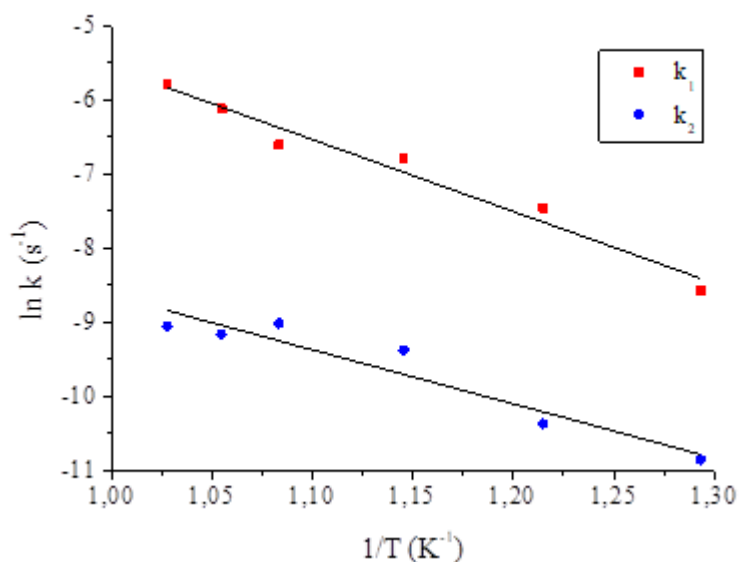


Figura 4. Gráfico de Arrhenius para as constantes k_1 e k_2 .

As curvas apresentam um comportamento linear sendo k_1 mais dependente da temperatura que k_2 , conforme reportado por Venegas et al. (2007), Mejía-Trejo, Fregoso-Israel e Pfeiffer (2008), e Rodríguez-Mosqueda e Pfeiffer (2010). A energia de ativação, o fator pré-exponencial e o coeficiente de determinação obtidos a partir do gráfico de Arrhenius para cada constante são apresentados na Tabela 2.

Constante	E (kJ mol ⁻¹)	k_0 (s ⁻¹)	R ²
k_1	80,60	1,42	0,9693
k_2	60,72	0,29	0,9173

Tabela 2. Parâmetros de ajuste da Equação de Arrhenius.

A energia de ativação calculada para a reação de carbonatação foi de 80,60 kJ mol⁻¹ e para a reação química controlada pelo processo de difusão foi de 60,72 kJ mol⁻¹. Esses valores estão de acordo com dados publicados na literatura (MEJÍA-TREJO; FREGOSO-ISRAEL; PFEIFFER, 2008).

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se a aplicação de uma cerâmica de lítio comercial, o Li_4SiO_4 , na captura de dióxido de carbono. A ampla faixa de temperatura de adsorção (500 - 730 °C) e a alta capacidade de captura deste sólido o tornam competitivo para aplicações em altas temperaturas.

O aumento da temperatura na cinética de adsorção do Li_4SiO_4 em dióxido de carbono puro favoreceu a reação elevando a quantidade de CO_2 capturada. Nas

maiores temperaturas (700 °C e 730 °C) os efeitos difusivos foram eliminados com uma quantidade de CO₂ capturada no equilíbrio de 35%, valor próximo a capacidade máxima teórica de 36,7%.

O modelo matemático semi-empírico duplo exponencial foi ajustado aos dados cinéticos de adsorção e representou muito bem o fenômeno que ocorre no ortossilicato de lítio, sendo que a energia de ativação calculada para a reação de carbonatação foi de 80,60 kJ mol⁻¹ enquanto que para a reação química controlada pelo processo de difusão foi de 60,72 kJ mol⁻¹.

5 | AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Os autores gostariam também de agradecer ao LCME - UFSC pelo apoio técnico durante o trabalho de microscopia eletrônica.

REFERÊNCIAS

AMORIM, S. M. et al. Lithium orthosilicate for CO₂ capture with high regeneration capacity: Kinetic study and modeling of carbonation and decarbonation reactions. **Chemical Engineering Journal**, v. 283, p. 388–396, 2016.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CHANBURANASIRI, N. et al. Hydrogen Production via Sorption Enhanced Steam Methane Reforming Process Using Ni/CaO Multifunctional Catalyst. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 50, n. 24, p. 13662–13671, 2011.

CUNHA, A. F. et al. Steam reforming of ethanol on a Ni/Al₂O₃ catalyst coupled with a hydrotalcite-like sorbent in a multilayer pattern for CO₂ uptake. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 90, n. 6, p. 1514–1526, 2012.

DOMENICO, M. D. et al. Coal gasification in the presence of lithium orthosilicate. Part 1: Reaction kinetics. **Chemical Engineering Research and Design**, 2018.

ESTEVES, E. Regressão não-linear utilizando a ferramenta Solver ® do Microsoft Excel ®. **Tecnovisão Série Electronica**, v. 18, n. 1, p. 1–13, 2008.

FLORIN, N. H.; HARRIS, A. T. Reactivity of CaO derived from nano-sized CaCO₃ particles through multiple CO₂ capture-and-release cycles. **Chemical Engineering Science**, v. 64, n. 2, p. 187–191, 2009.

FOGLER, H. S. **Elements of chemical reaction engineering**. New Jersey: Prentice Hall, 1992.

HALABI, M. H. et al. Reactor modeling of sorption-enhanced autothermal reforming of methane. Part I: Performance study of hydrotalcite and lithium zirconate-based processes. **Chemical Engineering Journal**, v. 168, n. 2, p. 872–882, 2011.

HU, Y. et al. CO₂ capture by Li₄SiO₄ sorbents and their applications: Current developments and new trends. **Chemical Engineering Journal**, v. 359, p. 604–625, 2019.

IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Working Group III do Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer]. Nova Iorque: Universidade de Cambridge, 2005.

KATO, M. et al. Novel CO₂ absorbents using lithium-containing oxide. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, v. 2, n. 6, p. 467–475, 2005.

MEJÍA-TREJO, V. L.; FREGOSO-ISRAEL, E.; PFEIFFER, H. Textural, Structural, and CO₂ Chemisorption Effects Produced on the Lithium Orthosilicate by Its Doping with Sodium (Li_{4-x}NaxSiO₄). **Chemistry of Materials**, v. 20, n. 22, p. 7171–7176, 2008.

MOSQUEDA, R. R. **Análisis termocinético de la quimisorción de CO₂ en el Li₄SiO₄ usando diferentes velocidades de flujo de gas y diferentes tamaños de partícula**. 2011. Universidade Nacional Autónoma do México, 2011.

NAIR, B. N. et al. Lithium based ceramic materials and membranes for high temperature CO₂ separation. **Progress in Materials Science**, v. 54, n. 5, p. 511–541, 2009.

OLIVEIRA, E. L. G.; GRANDE, C. A.; RODRIGUES, A. E. Effect of catalyst activity in SMR-SERP for hydrogen production: Commercial vs. large-pore catalyst. **Chemical Engineering Science**, v. 66, n. 3, p. 342–354, 2011.

ORTIZ-LANDEROS, J. et al. Towards understanding the thermoanalysis of water sorption on lithium orthosilicate (Li₄SiO₄). **Thermochimica Acta**, v. 515, n. 1–2, p. 73–78, 2011.

ORTIZ-LANDEROS, J. et al. Analysis and perspectives concerning CO₂ chemisorption on lithium ceramics using thermal analysis. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 108, p. 647–655, 2012.

QI, Z. et al. Analysis of CO₂ sorption/desorption kinetic behaviours and reaction mechanisms on Li₄SiO₄. **Alche Journal**, v. 59, n. 3, p. 901–911, 2012.

RODRÍGUEZ-MOSQUEDA, R.; PFEIFFER, H. Thermokinetic analysis of the CO₂ chemisorption on Li₄SiO₄ by using different gas flow rates and particle sizes. **The Journal of Physical Chemistry A**, v. 114, n. 13, p. 4535–4541, 2010.

SEGGIANI, M.; PUCCINI, M.; VITOLO, S. High-temperature and low concentration CO₂ sorption on Li₄SiO₄ based sorbents: Study of the used silica and doping method effects. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 5, n. 4, p. 741–748, 2011.

TAKASU, H. et al. Kinetic analysis of the carbonation of lithium orthosilicate using the shrinking core model. **Ceramics International**, v. 44, n. 10, p. 11835–11839, 2018.

VENEGAS, M. J. et al. Kinetic and reaction mechanism of CO₂ sorption on Li₄SiO₄: Study of the particle size effect. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 46, n. 8, p. 2407–2412, 2007.

WANG, K. et al. High temperature capture of CO₂ on lithium-based sorbents from rice husk ash. **Journal of hazardous materials**, v. 189, n. 1–2, p. 301–7, 2011.

YAMAGUCHI, T. et al. Lithium silicate based membranes for high temperature CO₂ separation. **Journal of Membrane Science**, v. 294, n. 1–2, p. 16–21, 2007.

YIN, X. S. et al. High-Temperature CO₂ Capture on Li₆Zr₂O₇: Experimental and Modeling Studies. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 49, n. 14, p. 6593–6598, 2010.

SOBRE A ORGANIZADORA

Carmen Lúcia Voigt: Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-422-1

