

# 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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
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
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>7</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>12</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>19</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>32</b>
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**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>93</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>105</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240612</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>117</b>
ADSORÇÃO DE CO <sub>2</sub> 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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240613</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>132</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240614</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>140</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240615</b>	



**CAPÍTULO 16 ..... 147**

CINÉTICA E MODELAGEM DA CAPTURA DE CO<sub>2</sub> 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

<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>267</b>
PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTIMATIVA DE INCERTEZA APLICADOS À MEDIÇÃO DE GRANDEZAS QUÍMICAS	
<i>Cassiano Lino dos Santos Costa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240627</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>282</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240628</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>292</b>

## ADSORÇÃO DE CO<sub>2</sub> EM MATERIAL MEOSPOROSO DO TIPO SBA-16 FUNCIONALIZADO

### Taisa Cristine de Moura Dantas

Instituto de Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Av: Senador Salgado Filho, 3000 – Lagoa Nova – CEP: 59078-970 – Natal – RN – Brasil.

### Eloy Sanz-Pérez

Departamento de Química e Tecnologia de Energia, ESCET. Universidad Rey Juan Carlos, C/ Tulipán s/n, 28933 Móstoles – Madrid – Espanha.

### Raul Sanz

Departamento de Química e Tecnologia de Energia, ESCET. Universidad Rey Juan Carlos, C/ Tulipán s/n, 28933 Móstoles – Madrid – Espanha.

### Amaya Arencibia

Departamento de Química e Tecnologia de Energia, ESCET. Universidad Rey Juan Carlos, C/ Tulipán s/n, 28933 Móstoles – Madrid – Espanha.

### Guillermo Calleja

Departamento de Química e Tecnologia de Energia, ESCET. Universidad Rey Juan Carlos, C/ Tulipán s/n, 28933 Móstoles – Madrid – Espanha.

### Ana Paula de Melo Alves Guedes

Departamento de Química – Universidade Federal da Paraíba. Campus I - Lot. Cidade Universitaria – CEP: 58051-900 – João Pessoa – PB – Brasil.

**RESUMO:** Recentemente uma das principais preocupações na Conferência do Clima (COP21)

foi às mudanças climáticas e a proposta de políticas para amenizar as emissões de gases de efeito estufa, dentre eles podemos citar o CO<sub>2</sub>. Uma dos métodos bastante estudados e utilizados atualmente é a captura de dióxido de carbono empregando materiais à base de silício com aminas funcionalizadas. Foi sintetizado o material mesoporoso do tipo SBA-16 e após isso foi funcionalizado com grupos aminas através dos métodos de impregnação com o polímero polietilenoimina (PEI) e o enxerto com o aminosilano N-[(3-trimetoxissilil)propil] dietilenotriamina (DT-NNN). Os materiais foram caracterizados pelas técnicas de adsorção/dessorção de N<sub>2</sub>, Análise Elementar, TGA/DTGA sendo confirmada a formação da estrutura do SBA-16 e uma satisfatória funcionalização. Os estudos de adsorção de CO<sub>2</sub> mostram que a amostra que apresentou uma menor quantidade de PEI na estrutura (10 %) obteve uma capacidade de adsorção maior (0,20 mol CO<sub>2</sub>/mol N), já o material funcionalizado através dos dois processos, SBA<sub>g</sub> DT- 30 (PEI), a quantidade de gás adsorvido foi de 0,06 mol CO<sub>2</sub>/mol N, a pressão de 1 bar.

**PALAVRAS-CHAVE:** emissão de gases; CO<sub>2</sub>; captura; material mesoporoso; funcionalização.

**ABSTRACT:** Recently a major concern at the Climate Conference (COP21) was climate change and the proposed policies to mitigate

emissions of greenhouse gases, among which we can mention the CO<sub>2</sub>. One of the extensively studied and methods currently used is carbon dioxide capture using silicon-based materials with functionalized amines. The mesoporous material of type SBA-16 was synthesized and through functionalized with amine groups by impregnation methods with polyethyleneimine (PEI) polymer and grafting with the aminosilane N - [(3-trimethoxysilyl) propyl] diethylenetriamine (DT-NNN). The materials were characterized by techniques adsorption/desorption of N<sub>2</sub>, Elemental Analysis, TGA/DTG which confirmed the formation of the structure of SBA-16 and a suitable functionalization. CO<sub>2</sub> adsorption studies show that the sample with the lowest amount of PEI in the structure (10%) obtained a higher adsorption capacity (0.20 mol CO<sub>2</sub> / mol N), already the material functionalized through the two processes, SBA<sub>9</sub> DT-30 (PEI), the amount of adsorbed gas was 0.06 mol CO<sub>2</sub>/mol N, at a pressure of 1 bar.

**KEYWORDS:** gas emission; CO<sub>2</sub>; capture; mesoporous materials, functionalization.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o rápido aumento da população mundial e da industrialização dos países, o consumo de energia é explosivamente crescente. Atualmente mais de 85% da demanda global de energia está sendo relacionada à queima de combustíveis fósseis. Estes continuarão a desempenhar um papel importante no futuro previsível, principalmente na geração de energia e no setor industrial. A queima desses combustíveis libera grandes quantidades de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, perturbando assim o equilíbrio de carbono do nosso planeta, e isso têm sido constante ao longo de centenas de milhões de anos (HERZOG e GOLOMB, 2004; METZ et al., 2005; GOEL, 2006, HARRISON, et al., 2010, IEA, 2014).

O CO<sub>2</sub> é o principal gás de efeito estufa antropogênico (GEE) na atmosfera. Um dos impactos ambientais do acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera é o aquecimento global. Na verdade, é evidente que a tendência de aquecimento linear ao longo dos últimos 50 anos (1956-2005) quase dobrou em comparação com o do período de 1906-2005 (IPCC, 2007). A Captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> (CCS) é uma opção importante para a diminuição das emissões desse gás a partir de plantas movidas a combustíveis fósseis, sendo estes o principal custo do CCS (IEA, 2012). Diversas tecnologias de captura de CO<sub>2</sub> são empregadas, incluindo a absorção física (YU, HUANG, TU 2012; KANAKUBO et al 2016), a absorção química (YU, HUANG, TU 2012; TAMAJÓN et al, 2016) a adsorção (MONDAL et al, 2012; SANZ-PÉREZ et al, 2017) e processos envolvendo membranas (BRUNETTI et al, 2010; KHALILPOUR et al, 2015).

Dentre as possibilidades para a captura do CO<sub>2</sub> os processos de adsorção em sólidos são bastante estudados. Uma variedade de adsorventes sólidos tem sido proposta para levar em conta as suas estruturas e composições, mecanismos de adsorção e regeneração. Estes podem ser combinados com uma grande variedade de opções de processamento. Dentre esses adsorventes sólidos incluem-se carvões



ativados, gel de sílica, resinas de permuta iônica, zeólitas, silicatos mesoporosos, alumina ativada, óxidos de metal (DANTAS et al, 2015) e outros materiais porosos de superfície modificadas. Há também fibras de carbono e seus compósitos, bem como estruturas metal-orgânicos foram desenvolvidos para a separação de gases (CHOI, DRESE, JONES 2009; KRUTKA et al, 2013). Porém os materiais com estruturas mais estáveis e que possam ser reutilizados estão dentro do foco dos estudos atuais, principalmente no que diz respeito ao aperfeiçoamento dessas estruturas.

Materiais de silício como as sílicas mesoporosas ordenadas toraram-se candidatos promissores devido à sua elevada área superficial, maior volume de poro, tamanho de poro ajustáveis e boa estabilidade térmica e mecânica. Com relação às sílicas porosas pesquisadas o SBA-16 é considerado uma mesoestrutura muito interessante já que sua estrutura é composta de grandes mesoporos (5-15 nm) tipo gaiola dispostos em uma dimensão cúbico de corpo centrado  $Im\bar{3}m$  e simetria 3D, cada mesoporos são conectados a oito mesoporos vizinhos (ZHAO et al., 1998; SAKAMOTO et al., 2000; GOBIN, 2006; SANTOS et al., 2013).

Trabalhos reportam funcionalizar essas superfícies com grupos que apresentem interação química com as moléculas de  $CO_2$ . A funcionalização é uma alternativa para incorporar grupos aminas nesses materiais, através da interação física entre a matriz inorgânica e os grupos orgânicos. De acordo com o tipo de interações entre as aminas e o suporte sólido, os adsorventes à base de amina podem ser classificados como materiais com aminas enxertadas e/ou impregnadas através de uma forte ligação covalente e interações fracas, respectivamente (SERNA-GUERRERO; BELMABKHOUT; SAYARI, 2010, DA'NA; SAYARI, 2011). Vários estudos têm sido relatados para a síntese de sílicas enxertadas com amina utilizando aminossilanos tais como (3-aminopropil) trietoxissilano (APS), N-[(3-trimetoxissilil) propil] etilenodiamina (2N-APS) e N-[(3 -trimetoxissilil) propil] diethylenetriamine (3N-APS) (YU; HUANG; TAN, 2012, SANZ et al., 2013, SANZ et al., 2015, SANZ-PÉREZ et al., 2018).

Diante disto, o presente trabalho irá aperfeiçoar os materiais sólidos com superfície de silício, como também melhorar suas propriedades, tendo como foco a combinação da estabilidade inorgânica com a funcionalidade orgânica dos grupos aminas, reportando para estes materiais características inorgânica-orgânicas. Estudos mostram que uma maneira de melhorar a eficiência desses materiais é ancorar em sua estrutura moléculas que apresentem grupos amina (-NH) tanto primários como secundários, para que seja possível a interação do  $CO_2$  com a estrutura e assim haja um aumento na adsorção. Aqui o material mesoporoso do tipo SBA-16 irá ser sintetizado e caracterizado, bem como, sua estrutura será submetida a funcionalização utilizando o agente sililante N-[(3-trimetoxissilil) propil] diethylenetriamine (DT) e o polímero Polietilenoimina (PEI), em seguida, os testes de adsorção  $CO_2$  serão realizados e sua capacidade adsortiva avaliada.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Síntese hidrotérmica do mesoporoso SBA-16

A peneira molecular do tipo SBA-16 foi sintetizado partindo do procedimento descrito por Zhao et al. (1998) e Gobin (2006). A síntese do SBA-16 (Figura 1) é realizada dissolvendo o 3 g de F127 ((óxido de etileno)<sub>106</sub> (óxido de propileno)<sub>70</sub> (óxido de etileno)<sub>106</sub>) em 5,95 g de ácido clorídrico e 144 g de água destilada, sendo os mesmos misturados em agitação e após a total dissolução do F127 foi adicionado 9 g de butanol (1:3). Após 1 hora 14,2 g tetraetilortosilicato (TEOS) foi acrescentado, permanecendo por 24 horas em agitação e aquecimento a 308 K (35 °C) por 24 horas. A mistura é envelhecida em autoclave por 48 horas a 100 °C.

Após as 48 horas de aquecimento o material foi resfriado, filtrado e lavado com água destilada e seco a temperatura ambiente. Para a retirada do direcionador o mesmo foi calcinado a 550 °C a uma razão de aquecimento de 1,8 °C min<sup>-1</sup> em ar sintético por 5 horas.

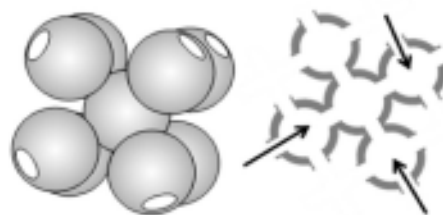


Figura 1. Ilustração dos canais de SBA-16.

Fonte: SANTOS et al., 2013.

### 2.2 Funcionalização do SBA-16 pelo método de enxerto (*grafting*) com DT

O método de funcionalização do SBA-16 foi realizado de acordo com a metodologia empregada por Sanz (2010). Impregnou-se 1 g de SBA-16 utilizando 1,83 g de DT e 250 mL de tolueno, a mistura permaneceu por 24 horas em refluxo. Após esta etapa a solução foi filtrada, lavada e seca a temperatura ambiente. As amostras estão denominadas como SBA<sub>g</sub> DT.

### 2.3 Funcionalização do SBA-16 pelo método de impregnação com PEI

Para a impregnação do PEI foi selecionado uma porcentagem em relação ao peso do SBA-16. Selecionaram-se as porcentagens de PEI 10%, 30% e 50% e adicionou-se em uma quantidade de material pré-calculada. O solvente utilizado para realizar essa mistura foi o metanol em uma proporção de 8:1 metanol/SBA-16. Após isso o sólido foi seco a temperatura ambiente. Os materiais foram descritos como SBA<sub>i</sub> - X, onde X é referente as porcentagens de PEI. Na Tabela 1 se encontram todas as proporções do

material, do polímero PEI e do metanol.

Amostras	Suporte (g)	PEI(g)	MeOH(g)
SBA-16	2,0	-	-
SBA <sub>1</sub> -10 (PEI)	1,8	0,2	14,4
SBA <sub>1</sub> -30 (PEI)	1,4	0,6	11,2
SBA <sub>1</sub> -50 (PEI)	1,0	1,0	8,0

Tabela 1- Proporções mássica dos materiais, do PEI e MeOH

## 2.4 Double funcionalização DT e PEI

Outra técnica de funcionalização utilizada nesse trabalho foi à técnica de dupla funcionalização de acordo com o procedimento realizado por Sanz-Pérez (2013). Esta se baseia na combinação do método *grafitng* com DT e da impregnação com PEI para a obtenção simultanea de uma alta incorporação de nitrogênio e uma alta mobilidade dos grupos amino. O aumento dessa mobilidade possibilitará uma melhora no proceso de captura de CO<sub>2</sub> e na formação de carbamato de amônio (SANZ-PÉREZ, 2013). Na Figura 2 pode-se observar como os grupos amino são dispostos em um sólido após a dupla funcionalização por enxertia e impregnação. Os materiais foram nomeados como: SBA<sub>g</sub> DT-X PEI onde x é relacionada a porcentagem de PEI.



Figura 2- Representação esquemática do processo de enxertia, impregnação e dupla funcionalização.

Fonte: SANZ-PÉREZ, (2013).

## 2.5 Caracterização dos Materiais

Os catalisadores obtidos foram caracterizados pelos métodos: Adsorção e Dessorção de N<sub>2</sub>, Análise Elementar (CHN) e Análise Termogravimétrica (TGA/DTG).

## 2.6 Testes de Adsorção de CO<sub>2</sub>

Foram realizados os testes de adsorção de CO<sub>2</sub> por meio de ensaios de adsorção de gases. A metodologia proposta para esses testes foi realizada num sistema Hiden

Analytical Intelligent Gravimetric Analyser, equipado com o sistema de vácuo ultra-elevado (CALLEJA et al., 2011).

Uma quantidade de material é submetida a uma temperatura de desgaseificação de 110 °C durante 2 horas, para a retirada total de humidade. Após isso, o teste de adsorção de CO<sub>2</sub> é iniciado, onde sob a amostra pré-tratada passa um fluxo de CO<sub>2</sub> sob pressão de 1 bar e temperatura de 45 °C, esse fluxo permanece por aproximadamente 15 horas. A seguir, o adsorvente é submetido novamente a uma desgaseificação, agora para a retirada de CO<sub>2</sub> e através do cálculo da diferença de massa é obtida a quantidade de gás adsorvido.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Adsorção e Dessorção de N<sub>2</sub> e Análise Elementar (CHN)

As isotermas de adsorção e dessorção de N<sub>2</sub> estão representadas na Figura 3(a) e (b).

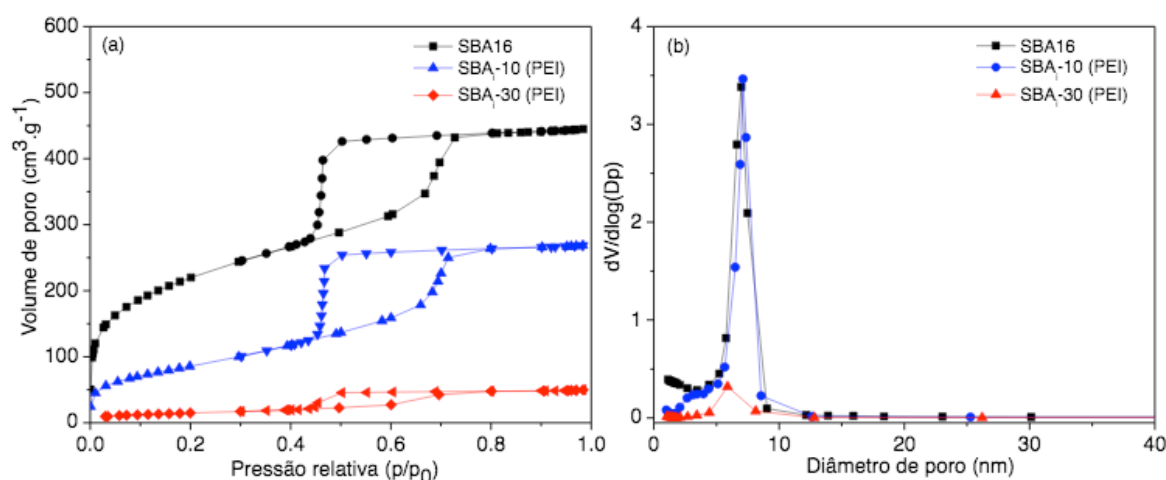


Figura 3- Propriedades texturais dos materiais (a) Área superficial e (b) Diâmetro de poro.

Para o SBA-16 não funcionalizados é observado uma área superficial de 796 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> e isoterma típica de materiais mesoporosos, podendo ser classificadas como isoterma do tipo IV sendo essa isoterma característica de materiais mesoporosos, onde a condensação capilar ocorre em  $P/P_0 \approx 0,4$  (LIN et al., 2008; FELICZAK-GUZIK et al., 2016). A distribuição de poros é mostrada na Figura 3(b). Para o SBA-16 o diâmetro de poro apresentado foi de 7,0 nm, corroborando com os reportados na literatura (ALMEIDA et al., 2012). É observado que os materiais diminuem suas propriedades texturais ao passo que são aumentados o conteúdo de moléculas orgânicas na estrutura.

Esses resultados mostram que na proporção de 10% PEI a isoterma apresenta uma área superficial de 313 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> e diâmetro de poro de 7,1 nm, em relação a área superficial do SBA-16 puro houve uma redução de mais de 50 % na sua área superficial, sendo uma evidência de que nessa primeira porcentagem do polímero os

grupos encontram-se todos na superfície. Para o material impregnado com 30% a área superficial diminui 93% em relação ao material de partida, mostrando um valor de  $54 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  e um diâmetro de poro de 6,0 nm, aqui a área superficial já se encontra praticamente saturada e os grupos começam a ocupar os poros do material. Para a amostra impregnada com 50% PEI e as que foram funcionalizadas pelo método de *grafitng* DT não foram obtidos valores das propriedades texturais, sendo uma evidência que a maior quantidade de moléculas orgânicas preenche quase que totalmente a estrutura do SBA-16.

A Na Tabela 2 é apresentada as propriedades texturais (área de superfície, volume de poros e diâmetro médio dos poros), como também os teores de nitrogênio contidos nas amostras. Sanz e colaboradores (2012) realizaram testes com o material mesoporoso SBA-15 que apresenta também uma isoterma do tipo VI, foi observado que com o aumento das porcentagens de PEI, havia um desvio marcante nas suas propriedades texturais, confirmando a extensão do material com a funcionalização (SANZ et al., 2012).

**Tabela 2.** Propriedades texturais dos materiais funcionalizados com DT e PEI.

Material	$S_{\text{BET}}^a$ ( $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ )	$D_p^b$ (nm)	$V_p^c$ ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	$N^d$ (mmol N/g)
SBA-16	796	7,0	0,69	-
SBA <sub>f</sub> - 10 (PEI)	313	7,1	0,41	2,2
SBA <sub>f</sub> - 30 (PEI)	54	6,0	0,08	6,2
SBA <sub>f</sub> - 50 (PEI)	-	-	-	10
SBA <sub>g</sub> DT	-	-	-	5,0
SBA <sub>g</sub> DT- 30 (PEI)	-	-	-	9,1

- a- Área Superficial;
- b- Diâmetro de Poro;
- c- Volume de Poro;
- d- Proporção de amina por grama da amostra.

### 3.2 Análises Termogravimétricas (TGA/DTGA)

As análises termogravimétricas representadas na Figura 4 (a) e (b) mostram as perdas de massa e a estabilidade térmica dos materiais, já que se deve verificar a temperatura máxima que as amostras poderão ser submetidas durante o processo de adsorção de  $\text{CO}_2$ , para quem não haja perda das aminas.

Na amostra SBA-16 puro são vistos uma perda entre 40 a 108 °C referente à água fisissorvida na amostra e com uma porcentagem de 3% em perda de massa. Como



esperado, a análise termogravimétrica do SBA-16 ao qual foi submetido à calcinação não exibiu nenhuma perda de peso notável com o aumento da temperatura (SHAH et al., 2014). De acordo com estudos encontrados na literatura, as cadeias de amina começam a decompor acima de 250 °C e é removido a partir de três fases (HARLICK e SAYARI, 2007).

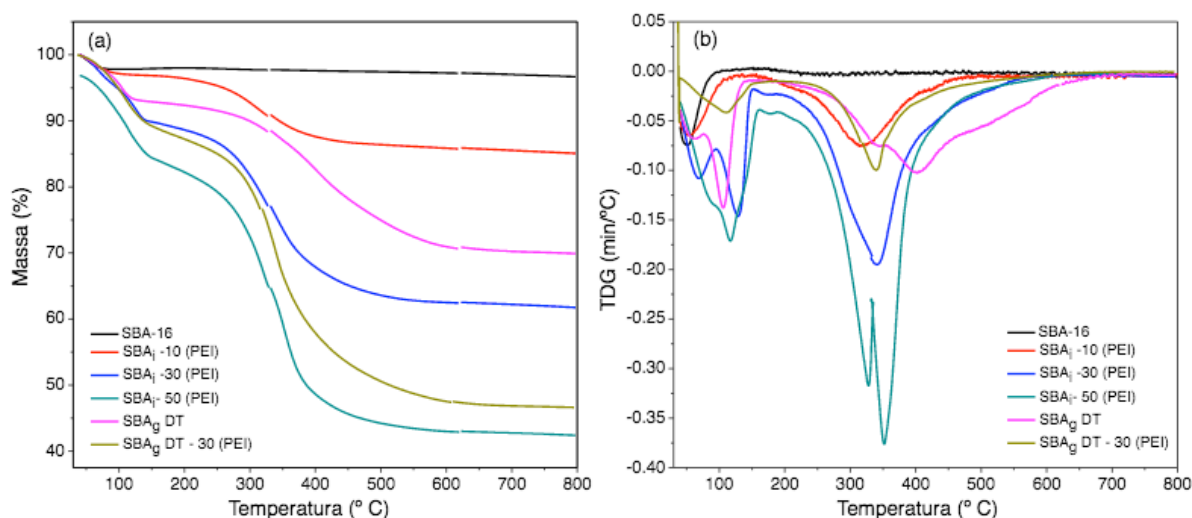


Figura 4. Análise térmica das amostras (a) TGA e (b) DTG.

Para as amostras impregnadas com 10 % de PEI são vistas duas perdas de massa, a primeira entre 40 a 110 °C relacionada à água fisissorvida e estrutural e entre 152 a 482 °C relativo a amins encontradas na superfície e nos poro da estrutura. Com 30% de PEI impregnado no SBA-16 foram observadas três etapas de perda, a primeira em 40 a 94 °C alusivo à água, uma segunda em 100 a 150 °C de perda de água estrutural e amins encontradas funcionalizadas na superfície e uma terceira etapa de perda entre 160–530 °C relacionadas às amins impregnadas dentro dos poros, essas maiores temperaturas de perda se deve ao fato da oclusão destes grupos dentro da estrutura com uma geometria cúbica, dificultando assim a degradação dos grupos orgânicos.

Os materiais contendo 50% de PEI mostraram três perdas consecutivas, uma entre as temperaturas de 40–157 °C relacionada à água fisissorvida e a água ligada na estrutura, como também a alguma quantidade de amins ligadas à superfície, uma segunda entre 160 a 333 °C referente à parte das amins encontradas dentro dos poros e uma última perda desde 333 até 488 °C de perda da outra parte das amins nos poros. As maiores porcentagens de perdas nas amostras de 50 % se deve diretamente a quantidade de PEI impregnada, que foi de 1:1 gramas de PEI: gramas de amostra.

Para as amostras enxertadas com DT é observado três etapas de perda, de 36-150 °C com 7% de perda ligada a água, 5% de amins entre as temperaturas de 251 a 354 °C e 16% de outra parte das amins nas temperaturas de 354 a 690 °C. O material ao qual foi enxertado DT e impregnado 30 % de PEI apresentou duas perdas, em 36- 150 °C com 11% de perda relacionada à água e de 240 a 455 °C alusivo à

perda de 33% de aminas. Um resumo de todas as etapas de perdas e temperatura está descritas na Tabela 3.

Amostras	Ds <sup>a</sup>	T (° C)	Wt <sup>b</sup> (%)	Decomposições
SBA16	1st	40 – 108	3	Água Fisissorvida e estrutural
SBA <sub>i</sub> - 10 (PEI)	1st	40 – 110	3	Água Fisissorvida e estrutural
	2nd	152 – 482	10	Aminas superficial e ocluída nos poros
SBA <sub>i</sub> - 30 (PEI)	1st	40 – 94	3	Água Fisissorvida
	2nd	100 – 150	5	Água estrutural e aminas superficiais
	3nd	160 – 530	26	Aminas ocluídas nos poros
SBA <sub>i</sub> - 50 (PEI)	1st	40 – 157	14	Água Fisissorvida, estrutural e aminas superficiais
	2nd	160 – 333	20	Aminas superficiais e ocluídas nos poros
	3nd	333 – 488	20	Aminas ocluídas nos poros
SBA <sub>g</sub> DT	1st	36 – 150	7	Água Fisissorvida, estrutural e aminas superficiais
	2nd	251 – 354	5	Aminas ocluídas nos poros
	3nd	354 – 690	16	Aminas ocluídas nos poros
SBA <sub>g</sub> DT - 30 (PEI)	1st	36 – 150	11	Água Fisissorvida, estrutural e aminas superficiais
	2nd	240 – 455	33	Aminas ocluídas nos poros

Tabela 3- Porcentagens de perdas de massa para os materiais funcionalizados.

<sup>a</sup>Ds: Etapas de decomposição

### 3.3 Testes de Adsorção de CO<sub>2</sub>

A fim de verificar a capacidade de adsorção de CO<sub>2</sub> dos materiais, em todos os adsorventes foram realizados ensaios de adsorção de CO<sub>2</sub> puro. As amostras foram submetidas a um tratamento prévio para a retirada de toda a umidade, onde essa amostra foi aquecida há uma temperatura de 110 °C durante duas horas para a retirada total de gases e água adsorvida na estrutura. De acordo com a análise termogravimétrica citada anteriormente, essa temperatura utilizada para o pré-tratamento é a ideal para que não haja a degradação do PEI encontrado na estrutura. Após essa etapa, foram realizados os ensaios de adsorção na pressão de 1 bar e temperatura de 45 °C.

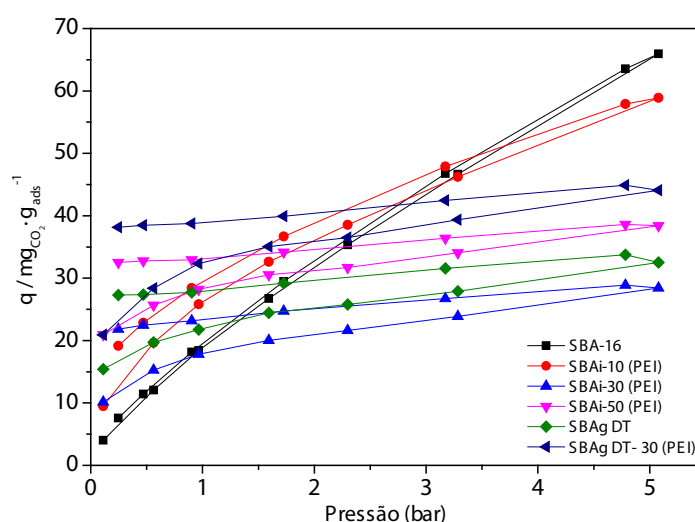


Figura 5. Adsorção de CO<sub>2</sub> para as amostras impregnadas com PEI e enxertadas com DT.

Os adsorventes SBA-16 e SBA<sub>i</sub>-10 (PEI) apresentaram isotermas com características de gases fisissorvidos, pois a quantidade de gás adsorvido é a mesma do dessorvido, e aumentam linearmente com a pressão na mesma temperatura e em volumes constantes, enquanto que para os materiais com maiores teores de PEI (SBA<sub>i</sub>-30 (PEI) e SBA<sub>i</sub>-50 (PEI)) as isotermas exibiram característica de adsorção física e química, onde as quantidade adsorvida e dessorvidas apresentaram um comportamento não linear, sendo determinada pelos equilíbrios químicos.

As melhores quantidades de dióxido de carbono adsorvidos foram referentes às amostras SBA<sub>i</sub>-10 (PEI) (28 mg CO<sub>2</sub>/g ads) e SBA<sub>g</sub> DT-30 (PEI) (32 mg CO<sub>2</sub>/g ads) a 1 bar. A eficácia dos grupos aminas presentes também foi calculada para a amostra SBA<sub>i</sub>-10 (PEI) sendo esta de 0,20 mol CO<sub>2</sub>/mol N, enquanto que para o SBA<sub>g</sub> DT-30 (PEI) o valor apresentado foi 0,06 mol CO<sub>2</sub>/mol N. É visto que os adsorventes com quantidades de PEI menores (10 %) seriam os mais interessantes para uma posterior aplicação em processos de PSA (*Pressure swing adsorption*).

Na literatura é mostrado que com o aumento de nitrogênio na estrutura em

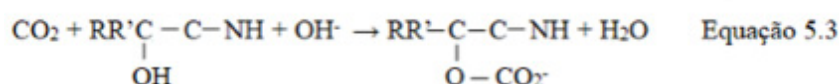
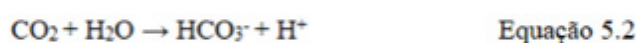
materiais mesoporosos, há um aumento no CO<sub>2</sub> adsorvido, sendo observado que o SBA-16 apresentou resultados distintos. Isso provavelmente se deve a obstrução dos canais conectados encontrados na amostra devido ao elevado conteúdo orgânico que pode limitar a difusão do CO<sub>2</sub>, evitando que o equilíbrio seja alcançado durante o processo de adsorção (SANZ et al., 2013, OLEA et al., 2013). Também é observado que o gás carbônico tem uma interação química forte com essas aminas, já que o referido gás pode ficar ocluído dentro desses canais, formando uma ligação covalente forte. Estudos realizados mostram que existe uma interação forte do CO<sub>2</sub> com a superfície de materiais a base de silício, devido ao seu momento quadrupolar (KING, 1965, SANZ et al., 2012).

A Tabela 4 representa a capacidade de CO<sub>2</sub> a 45 °C na pressão de 1 bar e a eficiência dos materiais funcionalizados.

Amostras	N (% p/p)	q (mg CO <sub>2</sub> /g ads)	qm (mol CO <sub>2</sub> /mol N) (0-0,5)	Capacidade de adsorção (mmol.g <sup>-1</sup> )
SBA-16	-	19	-	0,43
SBA <sub>i</sub> - 10 (PEI)	3,14	26	0,20	0,59
SBA <sub>i</sub> - 30 (PEI)	8,72	18	0,05	0,41
SBA <sub>i</sub> - 50 (PEI)	14,11	28	0,05	0,64
SBA <sub>g</sub> DT	6,92	21	0,07	0,48
SBA <sub>g</sub> DT- 30 (PEI)	12,72	32	0,06	0,72

Tabela 4. Capacidades de adsorção nos materiais funcionalizados com PEI e DT.

O mecanismo proposto pelos pesquisadores Caplow em 1968 e Danckwerts 1980 (Figura 6) onde esquematiza e descreve a reação e interação do CO<sub>2</sub> com aminas primárias e secundárias através da formação de um sal anfótero instável seguida pela desprotonação da base. Outras reações podem ocorrer quando o gás reage com uma solução aquosa alcalina: formação de bicarbonato (Equação 5.1), ácido carbônico (Equação 5.2) e alquilas (Equação 5.3) e estão apresentadas abaixo.



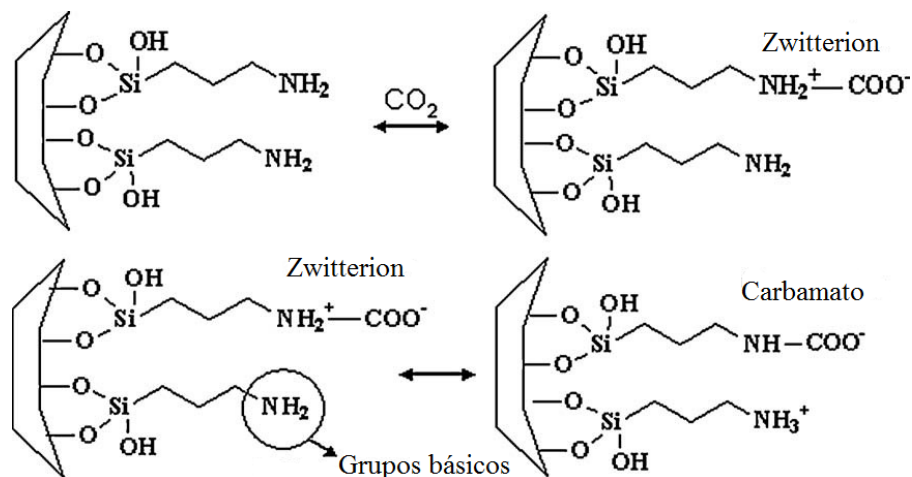


Figura 6 – Representação das reações entre a molécula de CO<sub>2</sub> e aminas primárias ou secundárias imobilizadas na superfície sólida.

Fonte: CAPLOW, 1968; SANZ-PÉREZ, 2013.

Yan e colaboradores (2011) reportaram que materiais de silício mesoporosos em poros com arranjo em 3D como o MCM-48 melhorou a cinética de adsorção de CO<sub>2</sub> ao invés de sua capacidade de adsorção. Eles descobriram que o aumento da capacidade de adsorção do KIT-6 > SBA-16 ≈ SBA-15 > MCM-48 > MCM-41, era em função do diâmetro de poros do suporte. No entanto, neste estudo, não foi encontrada uma correlação entre o tamanho do poro do SBA-16 e sua capacidade de adsorção de CO<sub>2</sub> nas temperaturas de 30, 50 e 75 °C. Por outro lado, a capacidade de adsorção aumentou quando se observou o aumento no volume total de poros dos materiais estudados nas temperaturas citadas anteriormente, isto é, foi observada uma relação linear entre a capacidade de adsorção o CO<sub>2</sub> e o volume total de poros (YAN et al., 2011).

#### 4 | CONCLUSÕES

As caracterizações das amostras antes e após a funcionalização mostrou que a síntese foi satisfatória, bem como, os métodos de funcionalização utilizados nesse trabalho. Por meio das análises de adsorção e dessorção de N<sub>2</sub> foi possível determinar as propriedades texturais do material, sendo observada uma diminuição nos valores corroborando com a análise elementar. Na análise térmica o material mostra perdas referentes à água e as aminas presentes na estrutura. Os testes de adsorção de CO<sub>2</sub> mostraram que as amostras que continha maiores quantidades de carga orgânica, adsorveram quantidades menores de CO<sub>2</sub>, sendo uma das hipóteses a obstrução dos poros pelas cadeias orgânicas. Foi observada que o SBA-16 com 10% de PEI apresentou a maior quantidade de gás adsorvido, SBA<sub>i</sub>-10 (PEI) (0,20 mol CO<sub>2</sub>/mol N) e SBA<sub>g</sub> DT- 30 (PEI) (0,06 mol CO<sub>2</sub>/mol N) a pressão de 1 bar e temperatura de 45 °C. Acima dessas porcentagens de grupos orgânicos as quantidades de gás carbônico



adsorvidas foram menores, mesmo a pressões maiores que 1 bar.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Recursos Humanos (PRH-30) da Petrobras pela bolsa concedida, a Capes pela bolsa concedida no exterior e a Universidad Rey Juan Carlo pela parceria na execução do projeto.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. K. S.; PIRES, C. T. G. V. M. T.; AIROLDI, C. **The influence of secondary structure directing agents on the formation of mesoporous SBA-16 silicas**. Chem. Engin. Journal, v. 203, p. 36–42, 2012.

BRUNETTI, A.; SCURA, F.; BARBIERI, G.; DRIOLI. **Membrane technologies for CO<sub>2</sub> separation**. J. Memb. Sci. v. 359, p. 115–125, 2010.

CALLEJA, G.; SANZ, R.; ARENCIBIA, A.; SANZ-PÉREZ, E. S. **Influence of Drying Conditions on Amine-Functionalized SBA-15 as Adsorbent of CO<sub>2</sub>**. Top Catal, v. 54, p. 135–145, 2011.

CHOI, S.; DRESE, J. H.; JONES, C. W. **Adsorbent Materials for Carbon Dioxide Capture from Large Anthropogenic Point Sources**. ChemSusChem, v. 2, p. 796–854, 2009.

DA'NA, E.; SAYARI, A. **Adsorption of copper on amine-functionalized SBA-15 prepared by co-condensation: Equilibrium properties**. Chem. Engin. Journal, v. 166, n. 1, p. 445–453, 2011.

DANCKWERTS, P. V. **The reaction of CO<sub>2</sub> with ethanolamines**. Chemical Engineering Science, n. 1, p. 443–446, 1979.

DANTAS, T.C.M.; FERNADES JUNIOR, V.J.; DOS SANTOS, A.P.B.; BEZERRA, F.A.; ARAUJO, A.S.; GUEDES, A. P. M. A. **CO<sub>2</sub> Adsorption on Modified Mg–Al-Layered Double Hydroxides**. Adsorption Science & Technology, v. 33, n. 2, p. 165–173, 2015.

FELICZAK-GUZIŁ, A.; JADACH, B.; PIOTROWSKA, H.; MURIAS, M.; LULEK, J.; NOWAK, I. **Synthesis and characterization of SBA-16 type mesoporous materials containing amine groups**. Microp. Mesop. Materials, v. 220, p. 231–238, 2016.

GOBIN, O. C. **SBA-16 Materials Synthesis, Diffusion and Sorption Properties**. Tese de Doutorado. Laval University, 2006.

GOEL, M. **Workshop on carbon capture and storage**. Department of Science and Technology, New Delhi, India, 2006.

HARLICK, P. J. E.; SAYARI, A. **Applications of pore-expanded mesoporous silica. 5. triamine grafted material with exceptional CO<sub>2</sub> dynamic and equilibrium adsorption performance**. Ind. Eng. Chem. Res, v. 46, p. 446-458, 2007.

HERZOG, H.; GOLOMB, D. **Carbon Capture and Storage from Fossil Fuel Use**. (2004).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **CO<sub>2</sub> Emissions from fuel Combustion**. 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Annual Energy Outlook 2014 with projections to 2040**. U.S. Department of Energy, Washington, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - (IPCC). In: Rajendra K. Pachauri; Andy Reisinger. **Cambio climático 2007**. p.104. Ginebra: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007.

KANAKUBO, M.; MAKINO T.; TANIGUCHI T.; NOKAMI T.; ITOH T. **CO<sub>2</sub> Solubility in Ether Functionalized Ionic Liquids on Mole Fraction and Molarity Scales**. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, v. 4, p. 525–535, 2016.

KING, A. D. **Quadrupole Moment of Carbon Dioxide from Second-Virial-Coefficient Data**. The Journal of Chemical Physics, v. 42, n. 7, p. 2610, 1965.

KHALILPOUR, R.; MUMFORD, K.; ZHAI, H.; ABBAS, A.; STEVENS, G.; RUBIN, E. S. **Membrane-based carbon capture from flue gas: A review**. Journal of Cleaner Production, v. 103, p. 286–300, 2015.

KRUTKA, H.; SJOSTROM, S.; STARNES, T.; DILLON, M.; SILVERMAN, R. **Post-Combustion CO<sub>2</sub> Capture Using Solid Sorbents: 1 MWe Pilot Evaluation**. Energy Procedia, v. 37, p. 73–88, 2013.

LIN, C-L.; PANG, Y-S.; CHAO, M-C.; CHEN, B-C.; LIN, H-P.; TANG, C-Y.; LIN, C-Y. **Application of mesoporous catalysts over palm-oil biodiesel for adjusting fuel properties**. J. Phys. Chem. Solids, v. 69, p. 415–419, 2008.

METZ, B.; DAVIDSON, O.; CONINCK, H.; LOOS, M.; MEYER, L. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge, 2005. <http://www.ipcc.ch/>.

MONDAL, M. K.; BALSORA, H. K.; VARSHNEY, P. **Progress and trends in CO<sub>2</sub> capture/separation technologies: A review**. Energy, v. 46, n. 1, p. 431–441, 2012.

OLEA, A.; ARENCIBIA, A.; SANZ, R.; CALLEJA, G. **Amino-functionalized pore-expanded SBA-15 for CO<sub>2</sub> adsorption**. Adsorption, v. 19, p. 589–600, 2013.

SAKAMOTO, Y.; KANEDA, M.; TERASAKI, O.; ZHAO, D.Y.; KIM, J.M.; STUCKY, G.; SHIM, H.J.; RYOO, R. **Direct imaging of the pores and cages of three-dimensional mesoporous materials**. Nature, v. 408, n. 6811, p. 449–453, 2000.

SANTOS, S. M. L.; NOGUEIRA, K. A. B.; GAMA, M. S.; LIMA, J. D. F.; SILVA JUNIOR I. J.; AZEVEDO, D. C. S. **Synthesis and characterization of ordered mesoporous silica (SBA-15 and SBA-16) for adsorption of biomolecules**. Microp. Mesop. Materials, v. 180, p. 284–292, 2013.

SANZ, R.; CALLEJA, G.; ARENCIBIA, A.; E.S. SANZ-PÉREZ. **CO<sub>2</sub> adsorption on branched polyethyleneimine-impregnated mesoporous silica SBA-15**. Appl. Surf. Science, v. 256, p. 5323–5328, 2010.

SANZ-PÉREZ, E.S. 405f. 2013. **Captura de CO<sub>2</sub> mediante adsorventes silíceos mesoestructurados funcionalizados com grupos amino**. Tese (Doutorado em engenharia química) - Departamento de tecnologia química e ambiental, Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles, Espanha, 2013.

SANZ, R.; CALLEJA, G.; ARENCIBIA, A.; SANZ-PÉREZ, E. S. **Amino functionalized mesostructured SBA-15 silica for CO<sub>2</sub> capture: Exploring the relation between the adsorption capacity and the distribution of amino groups by TEM**. Microp. Mesop. Materials, v. 158, p. 309–317, 2012.

SANZ, R.; CALLEJA, G.; ARENCIBIA, A.; E.S. SANZ-PÉREZ. **CO<sub>2</sub> Uptake and Adsorption Kinetics**

- of Pore-Expanded SBA-15 Double-Functionalized with Amino Groups.** Energy Fuels, v. 27, p. 7637–7644, 2013.
- SANZ, R.; CALLEJA, G.; ARENCIBIA, A.; E.S. SANZ-PÉREZ. **CO<sub>2</sub> capture with pore-expanded MCM-41 silica modified with amino groups by double functionalization.** Microp. Mesop. Materials, v. 209, p. 165–171, 2015.
- SANZ-PÉREZ, E. S.; DANTAS, T. C. M.; ARENCIBIA, A.; CALLEJA, G.; GUEDES, A. P. M. A.; ARAUJO, A. S.; SANZ, R. **Reuse and recycling of amine-functionalized silica materials for CO<sub>2</sub> adsorption.** Chem. Engin. Journal, v. 308, p. 1021–1033, 2017.
- SANZ-PÉREZ, E. S.; ARENCIBIA, A.; CALLEJA, G.; SANZ, R. **Tuning the textural properties of HMS mesoporous silica. Functionalization towards CO<sub>2</sub> adsorption,** Microp. Mesop. Materials, v. 260, p. 235–244, 2018.
- SERNA-GUERRERO, R.; BELMABKHOUT, Y.; SAYARI, A. **Triamine-grafted pore-expanded mesoporous silica for CO<sub>2</sub> capture: Effect of moisture and adsorbent regeneration strategies.** Adsorption, v. 16, n. 6, p. 567–575, 2010.
- SHAH, A. T.; AHMAD, S.; KASHIF, M.; KHAN, M. F.; SHAHZAD, K.; TABASSUM, S.; MUJAHID, A. **In situ synthesis of Copper Nanoparticles on SBA-16 Silica Spheres.** Arabian Journal of Chemistry, v. 9, p. 2–6, 2014.
- TAMAJÓN F.J.; ÁLVAREZ E.; CERDEIRA F.; GÓMEZ-DÍAZ D. **CO<sub>2</sub> absorption into N-methyldiethanolamine aqueous-organic solvents.** Chem. Engin. Journal, v. 283, p. 1069–1080, 2016.
- YAN, X.; ZHANG, L.; ZHANG, Y.; YANG, G.; YAN, Z. **Amine-Modified SBA-15 : Effect of Pore Structure on the Performance for CO<sub>2</sub> Capture.** Ind. Eng. Chem. Res., v. 50, p. 3220–3226, 2011.
- YU, C.-H., HUANG, C.-H. & TAN, C.-S. **A Review of CO<sub>2</sub> Capture by Absorption and Adsorption.** Aerosol Air Qual. Res. v. 12, p. 745–769, 2012.
- ZHAO, D.; FENG, J.; HOU, Q.; MELOSH, N.; FREDRICKSON, G. H.; CHMELKA, B. F. **Triblock copolymer syntheses of mesoporous silica with periodic 50 to 300 angstrom pores.** Science, v. 279, p. 548–552, 1998.

## **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

