



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

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



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
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. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
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
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
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. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª 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 Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG) | |
|---|---|
| P964 | A produção do conhecimento na engenharia 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 978-85-7247-747-5 DOI 10.22533/at.ed.475190611 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. CDD 660.76 |
| Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422 | |

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

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Química, devido preocupação em desenvolver produtos e processos de produção, é responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características. A manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos é o foco da Engenharia Química. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementar processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

O mercado de trabalho na área da Engenharia Química volta-se, por exemplo, para as áreas de energias renováveis (biocombustíveis), para a extração de óleos vegetais e para a produção de ração animal. Há espaço nas indústrias de tintas prediais e automotivas (máquinas agrícolas), nas indústrias têxteis, de cosméticos e higiene pessoal, assim como nas indústrias de tratamento de superfícies metálicas e não metálicas. Os profissionais também podem atuar nas indústrias de transformação dos polímeros, de gemas e joias, de erva-mate, frigoríficas e em laticínios, bem como nas indústrias farmacêuticas e de medicamentos.

Neste volume, organizado para você, apresentamos a produção de conhecimento na Engenharia Química através da realização de pesquisas diversas que abrangem desde nanomateriais na indústria de fármacos, métodos para degradação de poluentes, recuperação e purificação de compostos tanto de origem orgânica ou inorgânica, métodos de adsorção de corantes, até síntese de materiais, como óxido de grafeno e zeólita sodalita, por questões ambientais e energéticas.

Com base nestes trabalhos, convidamos você a aprimorar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, métodos e técnicas, mostrando a produção de conhecimento na área bem como o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| NANOMATERIAIS NA INDÚSTRIA DE FÁRMACOS | |
| Marlucia Ribeiro Barbosa Bourguignon | |
| Mariana César | |
| Iara Sperandio | |
| Damaris Guimarães | |
| DOI 10.22533/at.ed.4751906111 | |
| CAPÍTULO 2 | 11 |
| PRODUÇÃO DE FOTOCATALISADORES PARA DEGRADAÇÃO DOS HORMÔNIOS 17 β -ESTRADIOL E 17 α -ETINILESTRADIOL | |
| Ramiro Picoli Nippes | |
| Sérgio Ursulino Junior | |
| Tháisa Frossard Coslop | |
| Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante | |
| DOI 10.22533/at.ed.4751906112 | |
| CAPÍTULO 3 | 22 |
| MICROENCAPSULAMENTO DE ÓLEOS ESSENCIAIS: CONCEITOS E APLICAÇÕES | |
| Lidiane Diniz do Nascimento | |
| Márcia Moraes Cascaes | |
| Kauê Santana da Costa | |
| Eloisa Helena de Aguiar Andrade | |
| Elisângela Lima Andrade | |
| Cristiane Maria Leal Costa | |
| Lênio José Guerreiro de Faria | |
| DOI 10.22533/at.ed.4751906113 | |
| CAPÍTULO 4 | 36 |
| ANÁLISE TERMODINÂMICA DA FORMAÇÃO DE HIDROGÊNIO E GÁS DE SÍNTESE AO LONGO DA REAÇÃO DE GASEIFICAÇÃO COM ÁGUA SUPERCRÍTICA DO GLICEROL | |
| Julles Mitoura dos Santos Junior | |
| Annamaria Doria Souza Vidotti | |
| Reginaldo Guirardello | |
| Antônio Carlos Daltro de Freitas | |
| DOI 10.22533/at.ed.4751906114 | |
| CAPÍTULO 5 | 49 |
| PERFORMANCE OF A CYCLONE ADAPTED WITH WATER SPRAYERS | |
| Ana Clara Alves Justi | |
| Gabriel Henrique Justi | |
| Mônica Lopes Aguiar | |
| DOI 10.22533/at.ed.4751906115 | |

CAPÍTULO 6 62

SISTEMAS AQUOSOS BIFÁSICOS: UMA PLATAFORMA PARA A EXTRAÇÃO E PURIFICAÇÃO DE COMPOSTOS

Luan Vittor Tavares Duarte de Alencar
Laís Maria Santos Passos
Ricardo Porto Santos
Cleide Mara Faria Soares
Álvaro Silva Lima
Ranyere Lucena de Souza

DOI 10.22533/at.ed.4751906116

CAPÍTULO 7 75

AValiação DO EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO EM BIOCARVÃO PREPARADO POR PIRÓLISE DE CASCA DE EUCALIPTO

Lucas Destefani Paquini
Ueslei Giori Favero
Ruan de Oliveira Alves
Cynthia Pereira dos Santos
Jean Cota Coura
Renato Ribeiro Passos
Luciene Paula Roberto Profeti
Demetrius Profeti

DOI 10.22533/at.ed.4751906117

CAPÍTULO 8 85

INFLUÊNCIA DA AGITAÇÃO, pH E TEMPERATURA NO ESTUDO DA CINÉTICA E EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO CONGO

Priscila Pereira Silva
Bruno Henrique Peressin Lanzoni
Evandro Roberto Alves

DOI 10.22533/at.ed.4751906118

CAPÍTULO 9 99

TINGIMENTO DE POLIAMIDA ADICIONANDO β -CICLODEXTRINA AO BANHO DE TINGIMENTO

Ana Luísa Alves Musialak
Bruna Thaisa Martins Ferreira
Washington Luiz Félix Santos

DOI 10.22533/at.ed.4751906119

CAPÍTULO 10 106

PREPARAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFITE PARA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS $\text{Cu@TiO}_2/\text{RGO}$ UTILIZADOS COMO FOTOCATALISADORES

Jean César Marinozi Vicentini
Eduardo Sbardellati Barbieri
Gimerson Weigert Subtil
Nathalia Caputo da Silva
Fernanda Ribeiro Gaspar Branco da Silva
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante

DOI 10.22533/at.ed.47519061110

CAPÍTULO 11 118

SÍNTESE DE ZEÓLITA TIPO SODALITA A PARTIR DA CINZA VOLANTE

Emerson Cardoso Rodrigues
José Antônio da Silva Souza
Emanuel Negrão Macêdo
Carlos Augusto da Rocha Junior
Alice dos Prazeres Pinheiro
Romero Moreira de Oliveira
Dilson Nazareno Pereira Cardoso
Wenderson Gomes dos Santos
Bruno Maués Farias

DOI 10.22533/at.ed.47519061111

SOBRE A ORGANIZADORA..... 132

ÍNDICE REMISSIVO 133

SÍNTESE DE ZEÓLITA TIPO SODALITA A PARTIR DA CINZA VOLANTE

Emerson Cardoso Rodrigues
José Antônio da Silva Souza
Emanuel Negrão Macêdo
Carlos Augusto da Rocha Junior
Alice dos Prazeres Pinheiro
Romero Moreira de Oliveira
Dilson Nazareno Pereira Cardoso
Wenderson Gomes dos Santos
Bruno Maués Farias

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo principal a transformação de cinzas volantes em material zeólito, especificamente o zeólito sodalita, utilizando tratamento hidrotérmico. Para a produção de zeólito, foram utilizados dois métodos de síntese, um realizado em reator estático e outro em reator dinâmico. A síntese foi realizada com solução de NaOH 5 mol L⁻¹, razão cinza / solução = 0,125 g.mL⁻¹, temperatura de 373,15 K para o reator estático e 368,15 K para o reator dinâmico. Os tempos de reação para o método estático foram 20h, 22h e 24h e para o método dinâmico em intervalos de 15min até 2h de reação. Os resultados mostraram que a sodalita foi obtida com 20h de reação para o método estático e com 30min de reação para o método dinâmico. O zeólito de sódio atua como um trocador de íons para auxiliar no tratamento de águas residuais, estabelecendo assim as condições de síntese

desse zeólito contribui significativamente para esta aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Síntese Hidrotérmica, Sodalita.

ABSTRACT: The present work has as main objective the transformation of fly ash in zeolite material, specifically the sodalite zeolite, using hydrothermal treatment. For the zeolite production, two methods of synthesis were used, the one conducted in a static reactor and the other in a dynamic reactor. The synthesis was carried out using 5 mol L⁻¹ NaOH solution, ash / solution ratio = 0.125 g.mL⁻¹, temperature of 373,15 K for the static reactor and 368,15 K for the dynamic reactor. The reaction times for the static method were 20h, 22h and 24h and for the dynamic method at time intervals of 15min until 2h of reaction was completed. The results showed that sodalite was obtained with 20h of reaction for the static method and with 30min of reaction for the dynamic method. Sodium zeolite acts as an ion exchanger to assist in the treatment of wastewater, so establishing the conditions of synthesis of this zeolite contributes significantly to this application.

KEYWORDS: Hydrothermal Synthesis, Sodalite.

INTRODUÇÃO

A energia, por ser o principal insumo na produção de bens e serviços, é um dos principais pilares do desenvolvimento humano (SILVA e LOPES, 2012). Ela está inserida em questão de ordem social, em termos de necessidade básica, econômica, em termos de produção energética, política, relacionada ao uso governamental da renda energética e ambiental, quando se refere às fontes energéticas e seus impactos.

Diante destes pontos supracitados observa-se que as fontes energéticas, seus usos e suas conseqüências ambientais serão constantemente objeto de estudo para seu melhor aproveitamento. Em termos ambientais nota-se que há uma maior conscientização quanto ao tratamento de resíduos provenientes das fontes não renováveis de energia e inúmeras são as pesquisas que objetivam agregar valor a esses resíduos.

O presente trabalho utiliza as cinzas, resultantes da queima de carvão mineral em fornalhas para produção de vapor, para transformá-las em material zeolítico que se destina principalmente na remoção de substâncias ou elementos contaminantes presentes na água e em efluentes líquidos.

A motivação inerente à execução desse trabalho consiste no fato de que a cinza oriunda da queima do carvão mineral é um dos resíduos industriais mais produzidos no Brasil em termos de volume (IZIDORO, 2008). Segundo Cardoso et al. (2011) no Brasil são gerados aproximadamente 3 milhões de toneladas de cinzas por ano, desse total uma pequena parcela é reaproveitada na construção civil o restante é disposto de maneira inadequada provocando danos a saúde e ao meio ambiente.

Outro fato consiste na produção de zeólitas que se trata de um aluminossilicato cristalino com armação estrutural incluindo cavidades ocupadas por cátions grandes e moléculas de água, ambos tendo considerável liberdade de movimento, permitindo troca iônica e desidratação reversível (FUNGARO e SILVA, 2002). A síntese desse material a partir da cinza do carvão oferece várias vantagens, entre elas podemos citar: a matéria-prima utilizada para síntese é abundante, o reagente utilizado na síntese é de baixo custo e pode ser reutilizado, a zeólita após o uso pode ser regenerada, a estrutura da zeólita confere seletividade por tamanho, forma e carga, entre outros (BRUNO, 2008).

O objetivo do trabalho é sintetizar a zeólita sodalita a partir da cinza volante utilizando o método dinâmico e estático e a caracterização quanto a morfologia, composição química e mineralogia o material zeolítico obtido.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais de partida

A fonte de silício e alumínio utilizada foi a cinza volante que provém da refinaria de alumina, HYDRO, situada no município de Barcarena, no estado do Pará. É formada a partir da combustão do carvão mineral em fornalhas de leito fluidizado circulante. As cinzas volantes foram coletadas no ciclone instalado na saída da fornalha.

Utilizou-se como único reagente o hidróxido de sódio PA (comercializado pela Casa da Química Industrial e Comércio Ltda) e água destilada. A solução aquosa de hidróxido de sódio foi preparada no laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará a uma concentração de 5 Molar.

Síntese hidrotérmica da zeólita sodalita

Na primeira etapa do processo de síntese a cinza volante foi submetida a um processo de calcinação em vasos de argila, realizado em forno Elétrico redondo modelo SRT_SRTP na temperatura de 800°C por 2 horas com uma razão de aquecimento de 7°C/min para a completa eliminação de carvão não queimado sendo confirmado através da perda de massa.

A segunda etapa foi a síntese do material zeolítico que ocorreu em dois métodos, o método sem agitação (estático) e com agitação (dinâmico). A síntese sem agitação da zeólita sodalita, teve como referência o procedimento experimental proposto por Henmi (1987). Empregou-se na síntese uma relação de cinza/solução = 0,125 g.mL⁻¹ que foram aquecidas em uma estufa a 100°C e em três tempos de reação.

Realizou-se a síntese em uma autoclave de aço inox com revestimento de teflon e volume de aproximadamente 45 mL. Decorrido o tempo da síntese a autoclave foi resfriada em água corrente até atingir a temperatura ambiente. Em seguida, filtrou-se a suspensão em papel de filtro quantitativo (diâmetro = 150 mm), lavou-se o sólido com água destilada até que se atingisse pH neutro e secou-se o material em estufa a 100°C por 4h.

Foram utilizados os seguintes tempos de reação: 20h, 22h e 24h, obtendo-se assim três produtos zeolíticos que são identificados pela seguinte simbologia: ZSE20, ZSE22 e ZSE24, onde ZSE refere-se à zeólita formada pela síntese estática e os números referem-se ao tempo de reação em horas.

O processo de síntese com agitação também se utilizou o processo hidrotérmico na produção da zeólita sodalita, tendo como referência o procedimento experimental proposto por Henmi (1987). Realizou-se a reação em um reator de vidro com volume de 3000 mL, agitação mecânica, aquecimento em manta e controlador de

temperatura.

Na síntese foi mantida a relação de cinza/solução = $0,125 \text{ g.mL}^{-1}$. A reação ocorreu a uma temperatura de 95°C por 2h. Ao final da síntese, além do produto obtido, também é encontrado no reator uma solução denominada de “Solução Mãe” a qual possui certa quantidade de NaOH que não reagiu durante o processo. Posteriormente, seguiu-se o mesmo procedimento para síntese estática de filtração, lavagem e secagem do produto.

Durante a reação retirou-se alíquotas, com auxílio de uma seringa, em intervalos de tempo de 15min para observar o comportamento de formação da zeólita sodalita. Adotou-se a seguinte simbologia para se referir aos produtos desta reação: ZSD15, ZSD30, ZSD45, ZSD60, ZSD75, ZSD90, ZSD105 e ZSD120, onde ZSD refere-se à zeólita formada pela síntese dinâmica e os números referem-se ao tempo de reação em minutos.

Composição Química

Os resultados das análises química da cinza volante foram extraídos de Tancredi 2010, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal do Pará.

As análises da composição química da cinza volante foram realizadas no Laboratório de raios X do Instituto de Geociências da UFPA. As determinações foram feitas no programa IQ+ Semiquant, por fluorescência de raios X em disco de vidro para elementos maiores e traços, utilizando o espectrômetro sequencial **Axios Minerals**, tubo de raios-X cerâmico ânodo de Rh de 2,4kW, PANalytical.

A aquisição de dados foi feita com o software *SuperQ Manager* e o tratamento dos dados com o software *IQ+* da PANalytical, sendo o resultado normalizado para 100%.

Composição Mineralógica

A composição mineralógica da cinza volante, da cinza calcinada e da zeólita formada tanto pela síntese estática quanto pela síntese dinâmica foram realizadas no Laboratório de raios X do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

Para emprego da técnica, utilizou-se aproximadamente 1,0g de cada amostra que foram transferidas para porta amostra de aço inox. Realizaram-se as análises em um Difratômetro de raios-X da PANalytical, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), com Goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta), tubo de Raios-X cerâmico e anodo de cobre ($K\alpha_1 = 1,5405908 \text{ \AA}$), modelo PW3373/00 com foco fino longo (2200W – 60kV). O detector utilizado é o X'Celerator, do tipo RTMS (Real Time Multiple Scanning). Os registros foram realizados no intervalo de 5° a $75^\circ 2\theta$. O

software utilizado foi o X'Pert Data Coletor, versão 2.1^a, e o tratamento de dados foi realizado com o software X'Pert HighScore versão 2.1b, também da PANalytical.

Morfologia

As amostras dos produtos obtidos nas diferentes condições de síntese foram analisadas no Laboratório do Museu Paraense Emílio Goeldi. Essas amostras foram metalizadas com ouro, utilizando-se um metalizador EMITECH K550. A metalização, nesse equipamento, é feita a partir da interação entre um alvo de Au puro e íons de Ar (gás argônio), a uma pressão de $2 \cdot 10^{-1}$ mbar, e corrente de 25 mA durante 02'30", resultando na deposição de uma película com espessura média de ± 15 nm (nanômetros) sobre as amostras. As amostras foram montadas em suportes de alumínio com 10 mm de diâmetro, através de fita adesiva de carbono.

As imagens foram geradas por detecção de elétrons secundários, utilizando-se voltagem de 20 kV, e registradas em alta resolução.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização da matéria-prima

Composição Química da Cinza Volante

A Tabela 1 fornece os dados referentes a composição química da cinza realizada por fluorescência de raios-x.

| ÓXIDOS | TEOR(% massa) |
|--------------------------------|---------------|
| SiO ₂ | 42,53 |
| Al ₂ O ₃ | 16,40 |
| Fe ₂ O ₃ | 7,08 |
| Na ₂ O | 0,94 |
| MgO | 1,84 |
| K ₂ O | 1,61 |
| CaO | 19,00 |
| TiO ₂ | 0,90 |
| SO ₃ | 9,20 |
| P ₂ O ₅ | 0,20 |
| BaO | 0,10 |
| MnO | 0,07 |
| SrO | 0,04 |
| ZnO | 0,01 |
| Rb ₂ O | 0,01 |

Tabela 1: Resultado da Análise Química por Fluorescência de Raios-X

Fonte: TANCREDI, 2010.

As cinzas volantes em estudo são constituídas essencialmente por SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO . Os teores de SiO_2 e Al_2O_3 correspondem a aproximadamente 60% em massa da composição deste material, apresentando uma razão de Si/Al de 2,28. Esses dois elementos são fundamentais na formação estrutural do material zeolítico e segundo os dados apresentados a cinza em estudo pode ser utilizada como matéria prima na síntese de zeólitas. Pesquisas realizadas por Fungaro e Silva (2002) mostram que, geralmente, as maiores capacidades de troca iônica são observadas em zeólitas que apresentam baixa relação Si/Al, no referido trabalho as amostras de cinzas apresentaram uma relação de Si/Al em torno de 4 e mostraram-se eficientes quanto a troca dos íons Cd^{+2} , Cu^{+2} e Zn^{+2} o que torna a cinza volante deste trabalho bastante promissora quanto a troca iônica já que esta apresentou uma relação menor de $\text{Si/Al} \approx 2$.

Os óxidos Fe_2O_3 e CaO , que correspondem a aproximadamente 26% em massa da amostra, são considerados impurezas pois se encontram na superfície das partículas da cinza dificultando a cristalização das zeólitas e diminuindo a reatividade do meio, isto é, interferindo na dissolução do silício e alumínio (CARDOSO, et. al. 2011). O elevado teor de CaO na amostra justifica-se pelo fato de que é adicionado calcário na fornalha onde ocorre a combustão do carvão para remoção de compostos de enxofre.

Composição Mineralógica Da Cinza Volante (DRX)

A Figura 01 mostra o difratograma obtido para a cinza volante apresentando como principais fases cristalinas o quartzo (SiO_2), a anidrita (CaSO_4), a calcita (CaCO_3) e hematita (Fe_2O_3), o que justifica seus elevados teores na composição química da amostra.

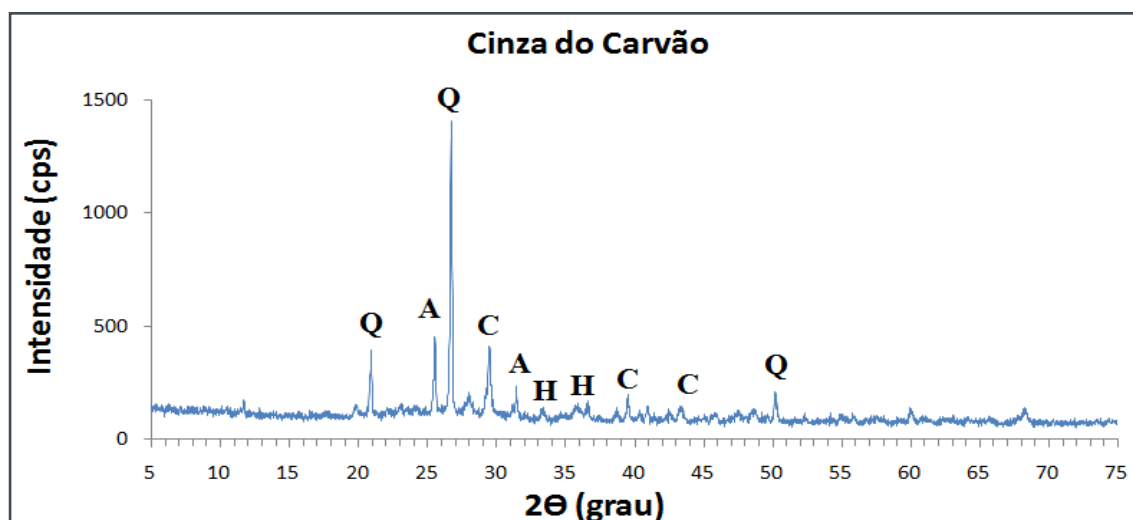


Figura 01: Difratograma correspondente a cinza volante onde: Q (quartzo), A (anidrita), C (calcita) e H (hematita).

A presença de hematita nas cinzas é decorrente da oxidação de sulfetos de ferro na forma de pirita e o sulfeto (SO_x) reagiu em parte com o Ca formando anidrita (FERRET, 2004).

A ocorrência de anidrita nas cinzas está relacionada ao fato de que se adiciona calcário (CaCO_3) /ao processo de combustão do carvão mineral a fim de diminuir as emissões de gases SO_x para a atmosfera, conforme as reações apresentadas nas equações 1 e 2.



As fases cristalinas identificadas nas cinzas volantes estão relacionadas à baixa temperatura de combustão do carvão na fornalha, que se encontra entre 800°C a 900°C , o que mantém algumas fases originárias do carvão mineral utilizado na combustão, já que esta faixa de energia não é suficiente para destruir algumas dessas estruturas (FERRET, 2004).

Morfologia da Cinza Volante (MEV)

Nas imagens obtidas (Figura 02) observa-se que a cinza volante possui massa disforme, comuns em cinzas formadas a baixas temperaturas (FERRET, 2004), presença de grãos de quartzo euédricos (Figura 02a) e cristais pseudo-hexagonal apresentando-se possivelmente como muscovitas (Figura 02b), já que esta mesma amostra de cinza volante foi objeto de estudo por Rocha Jr. (2011) e em suas análises mineralógicas e morfológicas observou-se a presença da muscovita.

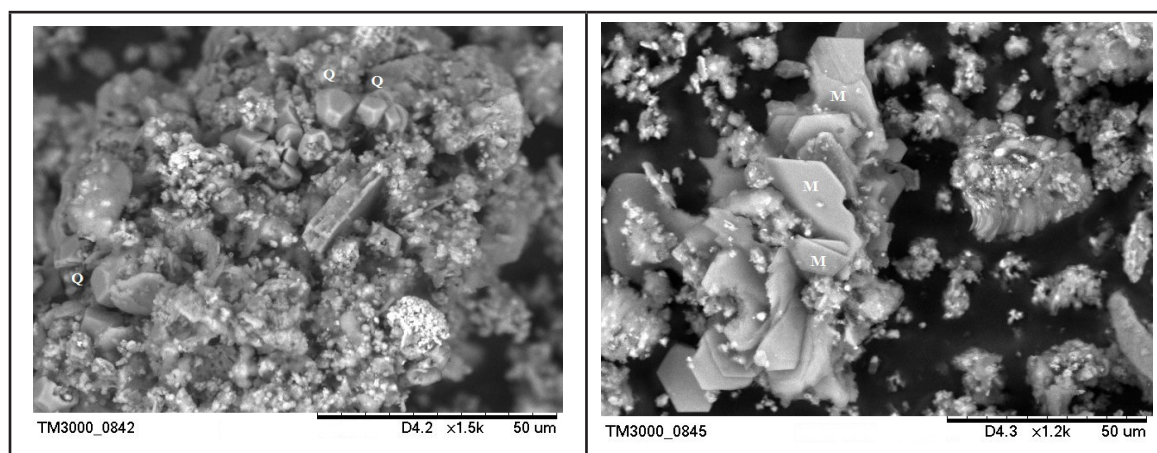


Figura 02: Micrografia mostrando a morfologia de algumas fases minerais presentes na amostra de cinza volante: a) quartzo euédrico; b) muscovita.

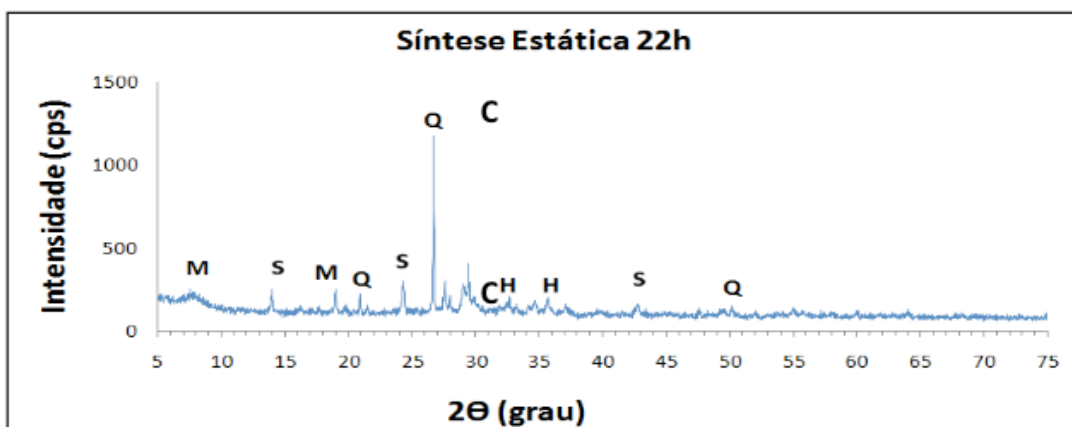
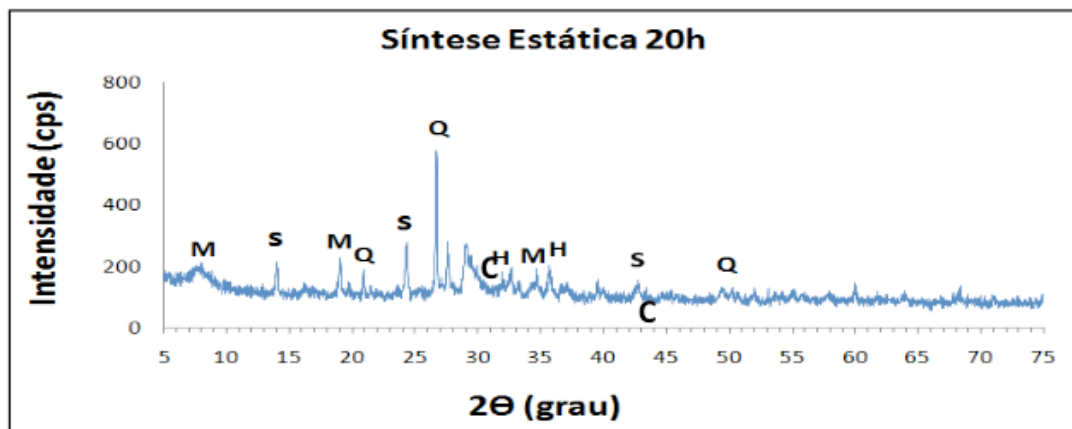
CARACTERIZAÇÃO DA SODALITA

Composição Mineralógica (DRX) da Sodalita Sintetizada em Sistema Estático.

De acordo com os difratogramas obtidos (Figura 03) as fases minerais identificadas na síntese da zeólita em sistema estático foram: quartzo (SiO_2), sodalita [$\text{Na}_6(\text{AlSiO}_4)_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$], muscovita [$(\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$), hematita (Fe_2O_3) e calcita (CaCO_3).

Foi possível observar que a sodalita formou-se a partir de 20h de reação apresentando seus picos característicos em 2θ : $24,5^\circ$; $14,05^\circ$ e $43,04^\circ$. O quartzo é considerado uma fase resistente de aluminossilicato e sua identificação no material zeolítico se deve à baixa degradabilidade das fases sustentadas por Al-Si nas cinzas. A hematita por sua vez, é considerada uma fase não reativa das cinzas e permanece inalterada antes e depois da síntese hidrotérmica (IZIDORO, 2008).

As condições de síntese estática para formação de sodalita, NaOH (5mol.L^{-1}) e temperatura de 100°C , foram estabelecidas baseadas nos estudos de Ferret (2004) que obteve a zeólita sodalita com as concentrações de NaOH $3,5\text{ mol.L}^{-1}$ e 5 mol.L^{-1} a 100°C , porém o que foi determinante na escolha da síntese de sodalita foi o tempo de reação. Em seus estudos para a concentração de NaOH a $3,5\text{ mol.L}^{-1}$ a sodalita formou-se com 3 dias de reação e para concentração de NaOH a 5 mol.L^{-1} a formação ocorreu em 24 horas de reação.



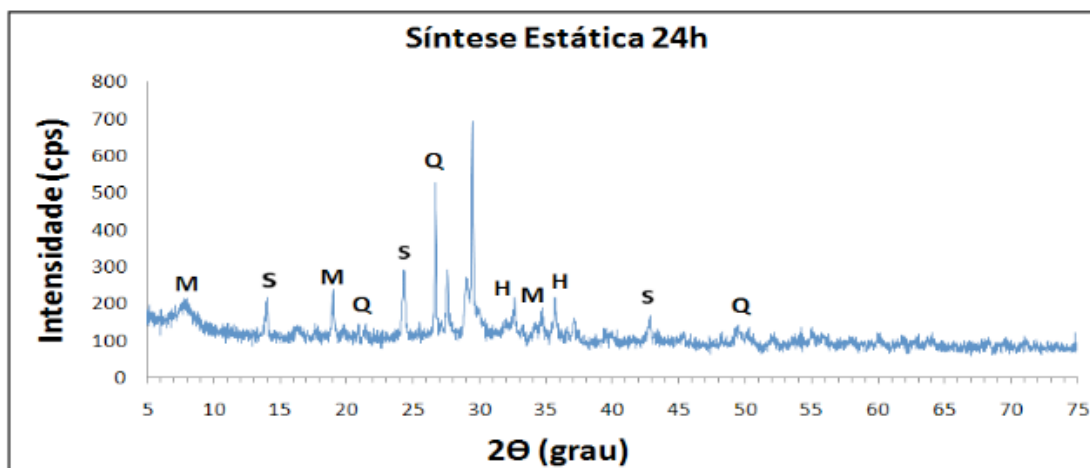


Figura 03: Difratogramas correspondentes a síntese estática com seus respectivos tempos de reação e fases mineralis: Q (quartzo), S (sodalita), M (muscovita), H (hematita) e C(calcita).

Composição Mineralógica (DRX) da Sodalita Sintetizada em Sistema Dinâmico.

De acordo com os difratogramas obtidos (Figura 04) as fases mineralis identificadas na síntese da zeólita em sistema dinâmico foram: quartzo (SiO_2), sodalita [$\text{Na}_6(\text{AlSi}_4)_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$] e calcita (CaCO_3).

Observa-se que a formação da sodalita inicia-se com 30min de reação, porém apresenta uma baixa intensidade (Figura 04b), já na figura 04c nota-se a formação dos três picos característicos da sodalita em 2θ : $24,5^\circ$; $14,05^\circ$ e $43,04^\circ$. A análise segue até completar 120min de reação onde se observa que a sodalita tem se formado ao longo da reação, mas ainda com baixa intensidade.

Para o estudo da síntese dinâmica adotou-se uma temperatura inferior (95°C) em relação a síntese estática (100°C), a concentração de NaOH (5mol.L^{-1}) permaneceu a mesma e modificou-se os tempos de reação. A temperatura de 95°C foi imposta pelas condições do equipamento que opera até esta temperatura, porém pretendia-se fazer a variação desta para melhores resultados de comparação com o sistema estático.

Diante destas condições, no sistema dinâmico foi possível alterar apenas o tempo de reação observando a formação da sodalita ocorrendo nesse sistema. Nos difratogramas é possível notar que a hematita não predomina nesse sistema, o que pode ser inferido que essa fase mineral foi lixiviada ao longo do processo, concentrando-se na solução de NaOH, uma vez que estudos realizados por Silva et.al. (2009) relevam que utiliza-se como tratamento prévio na síntese de zeólita a lixiviação ácida para remoção do ferro que ocorre mediante sistema dinâmico.

Objetivando-se a síntese da sodalita a concentração de NaOH não foi alterada devido aos estudos preliminares revelarem que ocorre a formação da sodalita entre $3,5$ a 5mol.L^{-1} (HENMI, 1987; QUEROL et al .2002; FERRET, 2004; IZIDORO, 2008; ROCHA Jr., 2011) a temperatura de 100°C .

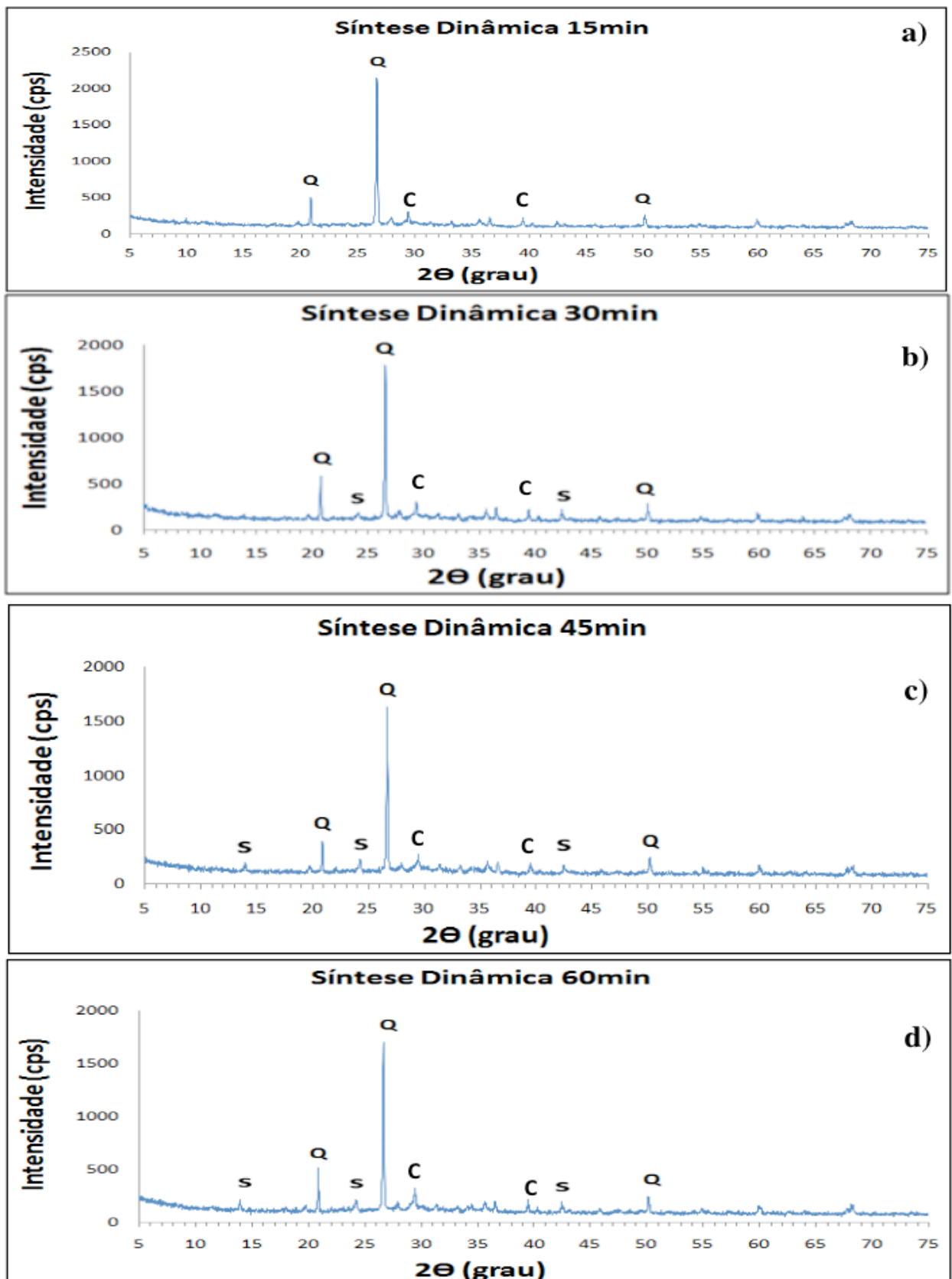


Figura 04: Difratogramas correspondentes a síntese dinâmica com seus respectivos tempos de reação e fases minerais Q (quartzo), S (sodalita) e C (calcita).

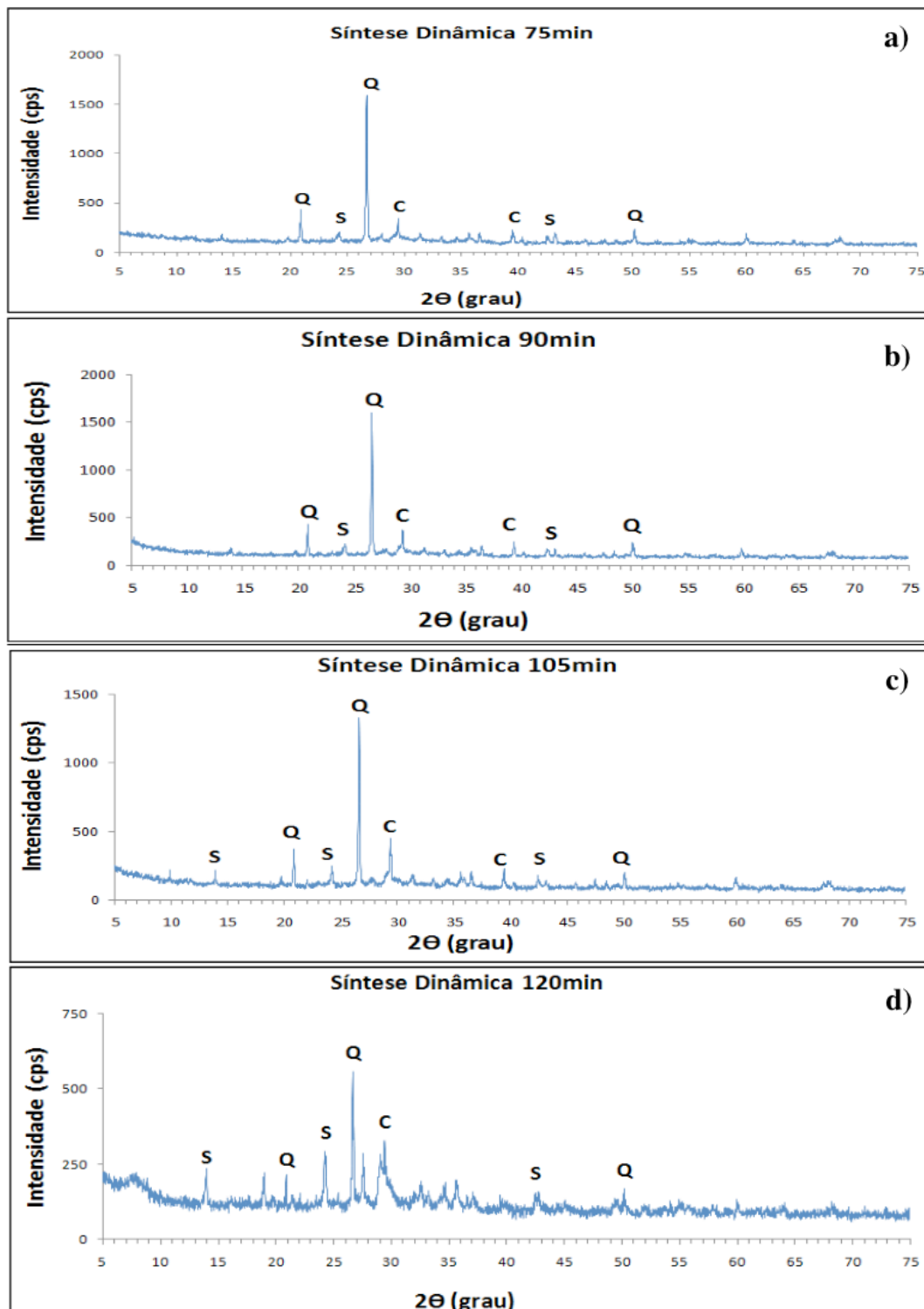


Figura 05: Difratogramas correspondentes a síntese dinâmica com seus respectivos tempos de reação e fases minerais Q (quartzo), S (sodalita) e C (calcita).

Morfologia (MEV) da Sodalita Sintetizada em Sistema Dinâmico

A Figura 06 mostra imagens da sodalita sintetizada em sistema dinâmico. Na Figura 06a com tempo de reação de 60 min verifica-se uma melhor formação da sodalita ainda muito dispersa na massa e a Figura 06b com tempo de reação de 120min mostra a massiva presença das sodalitas.

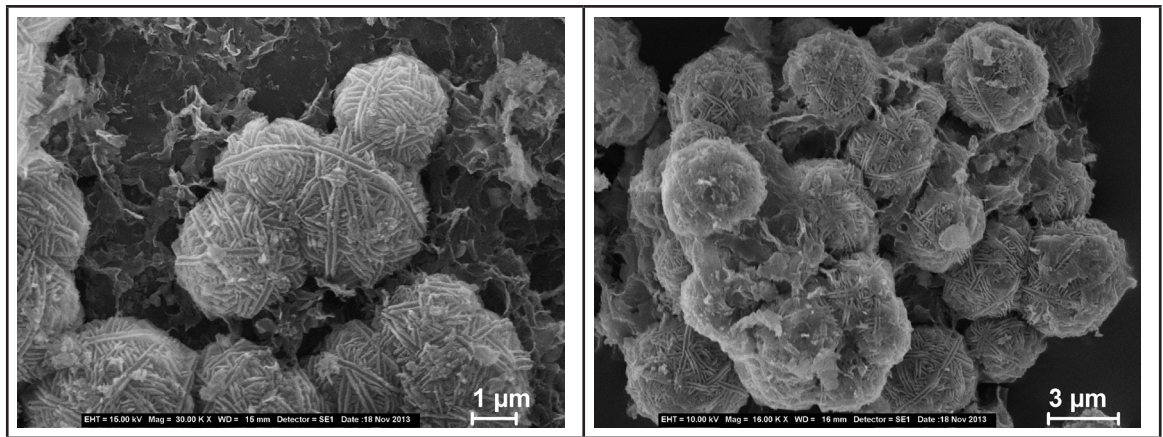


Figura 06: Micrografias apresentando a formação da sodalita em síntese dinâmica: a) 60min e b) 120min de reação.

CONCLUSÕES

- A síntese da zeólita sodalita é possível utilizando o processo hidrotérmico tanto em sistema estático quanto em sistema dinâmico.
- A formação da zeólita sodalita em sistema estático ocorre a partir de 20h de reação para as seguintes condições: concentração de NaOH a 5mol.L^{-1} , relação de cinza/solução = $0,125\text{ g.mL}^{-1}$, razão de Si/Al = 2,28 e temperatura de 100°C .
- A formação da zeólita sodalita em sistema dinâmico ocorre a partir de 30min de reação para as mesmas condições empregadas na síntese estática diferindo-se apenas na temperatura utilizada que foi de 95°C .
- A elevada concentração de Fe_2O_3 e CaO que totalizaram 26% em massa das cinzas não interferiram consideravelmente na formação da zeólita sodalita.
- O processo de síntese dinâmica é promissor quanto a produção da zeólita sodalita, uma vez que o tempo reacional para a formação desta é muito inferior em relação ao tempo reacional da síntese estática.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap9.pdf>. Acesso em: 24 out. 2013.

BRAGA, A. N. S.; SIMÕES, V. N.; NEIVA, L. S.; GAMA, L. Síntese de zeólitas pelo método hidrotérmico assistido por microondas: uma revisão da literatura. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7, n. 3, p. 215-220, 2012.

BRECK, D. B. **Zeolitic Molecular Sieves: structure, chemistry, and use**. New York: A Wiley - Interscience publication, 1973.

BRUNO, M. **Utilização de zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão na remoção de corante em água**. 2008, 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-USP/SP, São Paulo, 2008.

CARDOSO, A. M.; TONIOLO, R.; PIRES, M.; FERRET, L. Síntese de zeólitas a partir de cinzas de carvão visando uma produção mais limpa e econômica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL, 3., 2011, Gramado. **Anais eletrônicos...** Rio Grande do Sul: UFRGS, 2011. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sess%C3%B5es_B4_B5_B6/B6_ARTIGO_04.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2013.

CARRISCO, R. C. C.; POSSA, M. V. **Carvão mineral: aspectos gerais e econômicos**. Série estudos e documentos. Rio de Janeiro: CETEM- Centro de Tecnologia Mineral/CNPq, 1995.

CARVALHO, A. F. M. **Síntese de zeólita A a partir de diatomita como fonte de alumínio silicato**. 2011, 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Natal, 2011.

CUNDY, C. S.; COX, P. A. The hydrothermal synthesis of zeolites: precursors, intermediates and reaction mechanism. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 82, p. 1–78, 2005.

FERNANDES, A. A. **Síntese de zeólitas e wolastonita à partir da cinza da casca do arroz**. 2006, 98p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-USP/SP, São Paulo, 2006.

FERRET, L. S.; PIRES, M. J. R.; CARDOSO, A. M.; GUARIENTI, F. H. Zeolitização de cinzas de combustão de carvão: a questão da economicidade do processo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL, 3, 2011, Gramado. **Anais eletrônicos...** Rio Grande do Sul: UFRGS, 2011. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sess%C3%B5es_B4_B5_B6/B6_ARTIGO_04.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2013.

FERRET, L. S. **Zeólitas de cinza de carvão: síntese e uso**. 2004, 139p. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2004.

FREITAS, V. A. A.; LIMA, J. S. V.; COUCEIRO, P. R. C. Caracterização e análise estrutural da hidroxisodalita sintetizada a partir de amostras de solo amazônico. **Cerâmica**, v. 57, p. 281-287, 2011.

FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. C. Modelagem cinética da remoção de Cd²⁺ por zeólitas de cinzas de carvão. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 16, p. 9-13, ago. 2008.

FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. C. Remediação de drenagem ácida de mina usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas leves de carvão. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 735-740, 2006.

GOÑI, S.; PEÑA, R.; GUERRERO, A. Síntesis hidrotermal de zeólita a partir de ceniza volante tipo F: influencia de la temperatura. **Materiales de Construcción**, v. 60, n. 298, p. 51-60, 2010.

HENMI, T. Synthesis of Hydroxy-Sodalite (“Zeolite”) from Waste Coal Ash. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 33, n. 3, p. 517-521, 1987.

HOLLMANA, G. G.; STEENBRUGGEN, G.; JANSSEN-JURKOVICOVÁ, M. A two-step process for the synthesis of zeolites from coal fly ash. **Fuel**, v. 78, p. 1225-1230, 1999.

IZIDORO, J. C. **Síntese e caracterização de zeólita pura obtida a partir de cinza volante de carvão**. 2013, 146p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-USP/SP, São Paulo, 2013.

LUZ, A. B.; COELHO, J. M. Feldspato. In: LUZ, A. B.; LINS, F. F. **Rochas e Minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 413-430.

LUZ, A. B. **Zeólitas: propriedades e usos industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994. 36p. (Série Tecnologia Mineral).

MAIA, A. A. B. **Síntese da zeólita A utilizando como precursor um rejeito de beneficiamento de caulim da Amazônia: aplicação como adsorvente**. 2007. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto de Tecnologia. Universidade Federal do Pará, UFPA, Belém, 2007.

MONTE, M. B. M.; RESENDE, N. G. A. M. Zeólitas naturais. In: LUZ, A. B.; LINS, F. F. **Rochas e Minerais industriais**: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 699-720.

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.

ÍNDICE REMISSIVO

SÍMBOLOS

β -ciclodextrina 99, 100, 101, 104

A

Adsorção 14, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 109

Adsorvente 75, 80, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 93, 95, 97, 131

ATR 106, 107

B

Bagaço de cana 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97

Bagasse 49, 51, 60, 86, 98

Biomassa 36, 38, 39, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 68, 71, 75, 78

C

Carvão ativado 75, 78, 85, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98

Cinética 5, 85, 87, 89, 94, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 130

Cogeneration 49

Collection 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60

Compostos de interesse 39, 62

Corantes 62, 67, 69, 70, 71, 75, 76, 77, 86, 87, 92, 93, 94, 98, 100, 102, 104

Couro wetblue 85, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 97

D

Dióxido de titânio 11, 13, 18, 109

DRX 106, 107, 123, 125, 126

E

Efficiency 2, 12, 32, 34, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 73, 76, 86

F

Fármacos de liberação controlada 1

Fotocatálise heterogênea 11, 13, 20

G

Glicerol 36, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

Grafeno 3, 8, 14, 106, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115

H

Hammers modificado 106

I

Irradiação solar 11, 15

Isotermas 75, 79, 80, 81, 83, 85, 87, 90, 95, 96, 97, 103

M

Maximização de entropia 36, 39, 40, 42

Mercado de óleos essenciais 22, 24

Microencapsulação 22, 23, 25, 27, 28, 31, 32

N

Nanopartículas 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 26

Nanotecnologia 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9

P

Particulate material 49, 50, 52, 55, 57

Poliamida 99, 100, 101, 104

Purificação 62, 63, 66, 67, 68, 69, 71, 74, 79

R

Raman 106, 107, 113, 114

Recuperação 62, 70

S

SCWG 36, 37, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

Síntese hidrotérmica 120, 125

Sistemas aquosos bifásicos 62, 63, 69, 70, 71

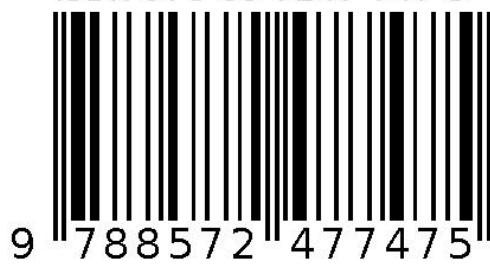
Sodalita 118, 119, 120, 121, 125, 126, 127, 128, 129

Spray drying 22, 23, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35

T

Tingimento têxtil 99, 105

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-747-5



9 788572 477475