



**UFAM**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRO-RETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ZEÓLITA A DOPADA COM COBRE PARA  
ADSORÇÃO DE GASES POLUENTES

HANNA SOARES PINHEIRO

Bolsista CNPq

MANAUS-AM

Setembro/2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRO-RETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**RELATÓRIO FINAL**

PIB-E-0042/2011

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ZEÓLITA A DOPADA COM COBRE PARA  
ADSORÇÃO DE GASES POLUENTES

HANNA SOARES PINHEIRO

Bolsista CNPq

Prof. Dr. PAULO ROGÉRIO DA COSTA COUCEIRO

Orientador

MANAUS-AM

Setembro/2012

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica.

À Prof<sup>a</sup>. Adriana Maria Coimbra Horbe, do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pelas análises de difração de raios X.

Ao Laboratório de Pesquisa e Ensaio de Combustíveis (LAPEC) do Departamento de Química/ICE/UFAM, pela disponibilização do laboratório e equipamentos necessários para o desenvolvimento do projeto.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (a) moléculas lineares são adsorvidas pela zeólita A e (b) volume excessivo da molécula ramificada impede a penetração nos poros da zeólita. Fonte: LUNA e SCHUCHARDT, 2001.....	9
Figura 2. (a) No béquer V1 contem a solução de aluminato de sódio e no béquer V2 contem a solução de metassilicato de sódio. (b) Verte-se o conteúdo do béquer V2 no béquer V1, ocorrendo instantaneamente à formação de um gel de cor branca. (c) Aspecto visual da mistura reacional antes da transferência para o reator. (d) O produto final da síntese após a lavagem e secagem, com aspecto de pó de coloração branca. ....	13
Figura 3. Difratoograma da amostra ZASG.09A que foi sintetizada sob pressão atmosférica, sem lavagem.....	14
Figura 4. Difratoograma da amostra ZASG.05B. LTA – zeólita A e FAU – zeólita NaX. ....	15
<b>Figura 5.</b> Espectro de absorção no infravermelho da amostra ZASG.05B.....	15
Figura 6. Curvas TGA e DTA da amostra ZASG.05B registrada na faixa de temperatura de 25 a 900 °C.....	16
Figura 7. Estudo cinético de adsorção do corante azul de metileno pela amostra ZASG.05B.....	17
Figura 8. Representação gráfica da quantidade de adsorvida (azul de metileno) <i>versus</i> concentração de azul de metileno em equilíbrio, frente à amostra ZASG.05B. ....	17
Figura 9. Ajuste dos dados de adsorção do azul de metileno pela amostra ZASG.05B mediante os modelos de Langmuir (esquerda) e Freundlich (direita). ....	18

**LISTA DE QUADRO E TABELA**

Quadro 1. Cronograma de atividades de agosto/2010 a julho/2011. ....	20
Tabela 1. Parâmetros dos modelos matemáticos de adsorção do azul de metileno pela amostra ZASG.05B. ....	18

## SUMÁRIO

RESUMO .....	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. ZEÓLITAS ASPECTOS GERAIS.....	9
3. METODOLOGIA .....	12
3.1. SÍNTESE DA ZEÓLITA A .....	12
3.2. CARACTERIZAÇÃO.....	12
3.5. TESTE DE ADSORÇÃO DA ZEÓLITA SINTÉTICA COM AZUL DE METILENO.....	12
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	13
4.1. SÍNTESE DE ZEÓLITAS .....	13
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	19
6. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES.....	20
7. REFERÊNCIAS .....	21

## RESUMO

As zeólitas possuem larga aplicação industrial devido as suas propriedades físico-químicas, tais como sua alta área superficial, capacidade de adsorção, seus centros ácidos, o tamanho de seus canais e cavidades e sua seletividade de forma. Estas características fazem com que as zeólitas sejam materiais de interesse para utilização como trocadores iônicos, peneiras moleculares e adsorventes. A síntese da zeólita A ocorre geralmente através do método sol-gel descrito pela IZA (International Zeolite Association), onde são empregadas soluções aquosas saturadas de sais de aluminatos e silicatos para obtenção de zeólita. Com a síntese obteve-se um material de coloração branca e estrutura cristalina evidenciada pelos difratogramas. As amostras sintetizadas apresentaram duas fases identificadas como zeólita A e zeólita NaX. Com o intuito de potencializar suas propriedades deseja-se dopar o material sintetizado com cobre e utilizar o material dopado para adsorção ou conversão de  $N_xO_y$ .

Palavras-chave: zeólita A, adsorção.

## 1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista o controle e remediação de gases nocivos na atmosfera tais como  $\text{CO}_x$ ,  $\text{N}_x\text{O}_y$  e  $\text{SO}_x$  que vem agravando os problemas de saúde humana e ambientais, surge-se a necessidade de criar novas tecnologias eficientes para a captura e destino desses gases (BRAUN, 2003). Nesse cenário, materiais porosos capazes de adsorver substâncias nocivas surgem como soluções para o setor industrial, automotivo e energético. Dentre os materiais utilizados no controle e remediação ambiental como os carvões ativados e as peneiras moleculares, as zeólitas se destacam por suas características e propriedades singulares (MASTERS e MASCHMEYER, 2011).

Zeólitas são aluminossilicatos hidratados formados por uma rede de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  e  $\text{AlO}_4$  conectados entre si por átomos de oxigênio, cada um deles comum a dois tetraedros vizinhos originando assim sua estrutura microporosa com canais e cavidades de tamanho definidos (RIGO *et al.*, 2009; LUZ, 1995).

A zeólita A é um material sintético muito usado nas indústrias petroquímicas como catalisador, trocador de íon ou peneira molecular (MORAES *et al.*, 2010). A zeólita A com íon  $\text{Na}^+$  como cátion trocável (zeólita NaA), que possui fórmula geral  $\text{Na}_{12}\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ , tem uma razão Si/Al próxima de 1, e por isso alta capacidade de troca catiônica. É obtida na forma cúbica *Fm-3c* e poucos micrômetros de tamanho (MAIA *et al.*, 2007).

A síntese zeolítica geralmente ocorre pelo método sol-gel segundo IZA (2012) e para dopagem inseri-se na mistura reacional o sal do metal direcionando-o para a estrutura da zeólita (YAMADA *et al.*, 2005). As zeólitas podem ser caracterizadas por DRX através da análise da sua cristalinidade e do seu parâmetro de rede. Para determinar a sua estrutura e verificar a inserção do metal na sua rede cristalina pode-se usar alternativamente o refinamento de Rietveld por ser mais vantajoso do que outras técnicas.

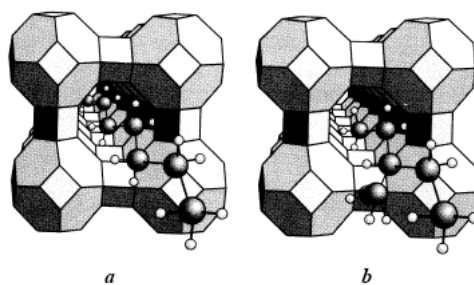


## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ZEÓLITAS ASPECTOS GERAIS

As zeólitas englobam uma grande quantidade de minerais naturais e sintéticos, inspirando grande interesse na área tecnológica devido as suas varias aplicações. Materiais sólidos microporosos como as zeólitas, podem atuar como catalisadores, peneiras moleculares, trocadores iônicos, e principalmente, adsorventes seletivos para misturas moleculares, pois permite somente a passagem de moléculas com tamanho inferior a de seus poros (RIGO *et al.*, 2009).

A zeólita A (zeólitaNaA - íon  $\text{Na}^+$  como cátion trocável) com fórmula geral  $\text{Na}_{12}\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}\cdot 27\text{H}_2\text{O}$  tem uma morfologia cúbica bem característica ( $a = 24,6 \text{ \AA}$ , grupo espacial  $Fm-3c$ ) e possui arranjos tridimensionais compostos por unidades tetraédricas de  $\text{SiO}_4$  e  $\text{AlO}_4$  na proporção 1:1 e alta capacidade de troca catiônica (Figura 1) (YAMADA *et al.*, 2005; MAIA *et al.*, 2007). Ela é um material microporoso, com tamanho de poro variado de 0,4 a 0,6 nm e que adsorve preferencialmente moléculas pequenas e polares, é também muito utilizada como peneira molecular para separação e purificação gasosa e secagem de solventes (MARTINS e CARDOSO, 2006).

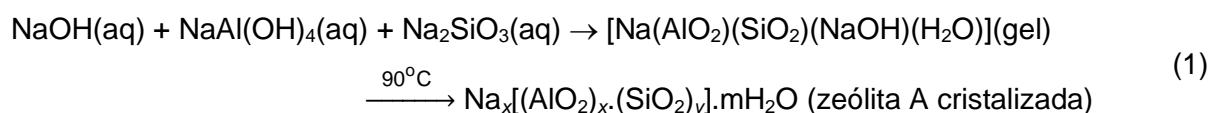


**Figura 1.(a)** moléculas lineares são adsorvidas pela zeólita A e **(b)** volume excessivo da molécula ramificada impede a penetração nos poros da zeólita. Fonte: LUNA e SCHUCHARDT, 2001.

Entre as peneiras moleculares, as zeólitas A tem grande importância em uso comercial de adsorção e de troca iônica. A separação e purificação podem ser obtidas por peneiração molecular, isto é, por exclusão de tamanho. Um exemplo é a secagem ou desidratação de gases ou alcoóis por zeólita A, que exclui todos os hidrocarbonetos,  $\text{O}_2$  e  $\text{N}_2$ , exceto gases com diâmetro menor que a de seu poro. Outro exemplo é o uso comercial em grande escala de

zeólita A em processos para a separação de parafinas normais de cadeia ramificada (por exemplo, *iso*-parafinas) e hidrocarbonetos cíclicos (YANG, 2003).

As zeólitas são geralmente sintetizadas pelo método sol-gel que consiste em misturar uma fonte de silício e outra de alumínio em pH básico em condições específicas de temperatura, pressão e tempo dependendo da zeólita que se deseja obter, como exemplo da síntese da zeólita A ver a reação 1. Para isso utiliza-se uma mistura de aluminatos e silicatos fazendo-se variar a composição da solução (ou gel de síntese) e as condições experimentais, sendo assim é possível sintetizar zeólitas com características estruturais e composições químicas diferentes (GIANNETTO, 1990).



Buscando potencializar as propriedades catalíticas e de adsorção, as zeólitas foram submetidas a uma dopagem com alguns metais como cobre e nióbio. A dopagem é feita pela introdução de cátions de metais de transição que substituem isomorficamente uma fração dos átomos T da estrutura tridimensional de tetraedros  $\text{TO}_4$ . Esse processo produz sítios isolados contendo o metal de transição no produto final. A substituição isomórfica de Si por outros heteroátomos como  $\text{B}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  (ZSM-5),  $\text{Ti}^{4+}$  (TS-1),  $\text{Ga}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  em pequenas quantidades (até 2 a 3 %) fornece novos materiais específicos mostrando propriedades catalíticas em oxidação e reações de hidroxilação relacionadas ao estado de coordenação do heteroátomo (AIELLO *et al.*, 2005).

Para a verificação da presença do metal de transição na estrutura zeolítica há necessidade de um estudo estrutural. Pelas vantagens e confiabilidade, o refinamento Rietveld se mostra como uma poderosa técnica que fornece a medida dos parâmetros de rede da célula utilizando os dados da difração de raios X (DRX).

Hugo Rietveld desenvolveu um método computacional para refinar as estruturas do cristal usando dados de difração de nêutron. Atualmente, é uma das técnicas mais eficientes para a análise estrutural, determinação cristalina, medidas dos parâmetros de rede e a análise quantitativa de DRX, método do pó (RIETVELD, 1969). O refinamento Rietveld consiste no ajuste ponto a ponto de todas as intensidades obtidas experimentalmente com as intensidades

calculadas baseadas em um determinado modelo cristalino (padrão), efeitos óticos de difração, fatores instrumentais e outras características da amostra.

As zeólitas são amplamente utilizadas como material adsorvente tanto de partículas gasosas como em meio aquoso pelas indústrias. Em meio gasoso dentre as técnicas mais abordadas na literatura para adsorção de  $\text{CO}_2$ , atualmente é a remoção de  $\text{CO}_2$  por absorção gasosa, empregando-se carbonatos e alcanolaminas como absorventes. Entretanto, este processo requer muita energia para a regeneração do solvente a qual é feita a alta temperatura, gerando resíduos e provocando também diversos problemas de corrosão. A habilidade de materiais como as zeólitas em adsorver  $\text{CO}_2$ , seletivamente, de correntes gasosas tem sido estudada por diversos pesquisadores, como uma das alternativas mais limpas e econômicas de recuperação deste gás (LIMA *et al.*, 2005).

A capacidade de um material adsorver um soluto é dada pelo poder adsortivo que é obtido em função da concentração, no meio fluido e na superfície do sólido. Em alguns sistemas, pode-se traçar uma curva de concentração do soluto em função da fase fluida e, as curvas obtidas são denominadas isotermas de adsorção. Estas denotam a eficiência da adsorção e, a partir de uma isoterma, é possível prever a quantidade de adsorvato de um meio.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. SÍNTESE DA ZEÓLITA A

O método de síntese foi adaptado da IZA (2012). Para a síntese utilizou-se metassilicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), aluminato de sódio ( $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ ) e hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ). A mistura reacional foi agitada por 24 h a temperatura ambiente e o processo de cristalização por 24 h a  $95^\circ\text{C}$  e pressão autógena. A reação foi feita em reator de aço-inox fechado (PARR 5500) e em copos de poliestireno.

Para a dopagem foi adicionando nitrato de cobre nas proporções 0,5; 1,0; 1,5 e  $2\% \text{mol mol}^{-1}$  em relação ao alumínio na etapa de agitação seguindo a metodologia do item 3.1.

#### 3.2. CARACTERIZAÇÃO

*Espectroscopia no Infravermelho (IV-TF)*- os espectros foram obtidos no espectrômetro ThermoScientific, modelo Nicolet IR 200, na faixa de varredura de  $4.000$  a  $400 \text{ cm}^{-1}$ , com  $4 \text{ cm}^{-1}$  de resolução e 64 varreduras. Para a análise foi utilizada pastilha prensada (disco) de mistura de KBr:amostra (100:1) devidamente seca.

*Análise Termogravimétrica (TGA/DTA)* - as curvas térmicas foram obtidas no termoanalisador da Shimadzu, modelo DTG-60H, sob atmosfera de  $\text{N}_2$  com fluxo  $50 \text{ mL min}^{-1}$ , na faixa de temperatura de  $25$  a  $900^\circ\text{C}$ . Para a análise foram usados  $\sim 10 \text{ mg}$  de amostra em cadinho de alumina.

*Difração de Raios X (DRX)* - os padrões de difração foram obtidos no difratômetro Shimadzu, modelo XRD 6000, equipado com um monocromador de grafite e tubo de raios X cerâmico de anodo de  $\text{CuK}\alpha$  (comprimentos de onda,  $\lambda = 0,154184 \text{ nm}$ ), sob corrente de  $30 \text{ mA}$  e tensão de  $45 \text{ kV}$ , com varredura de  $2\theta$  de  $5$  a  $50^\circ$ .

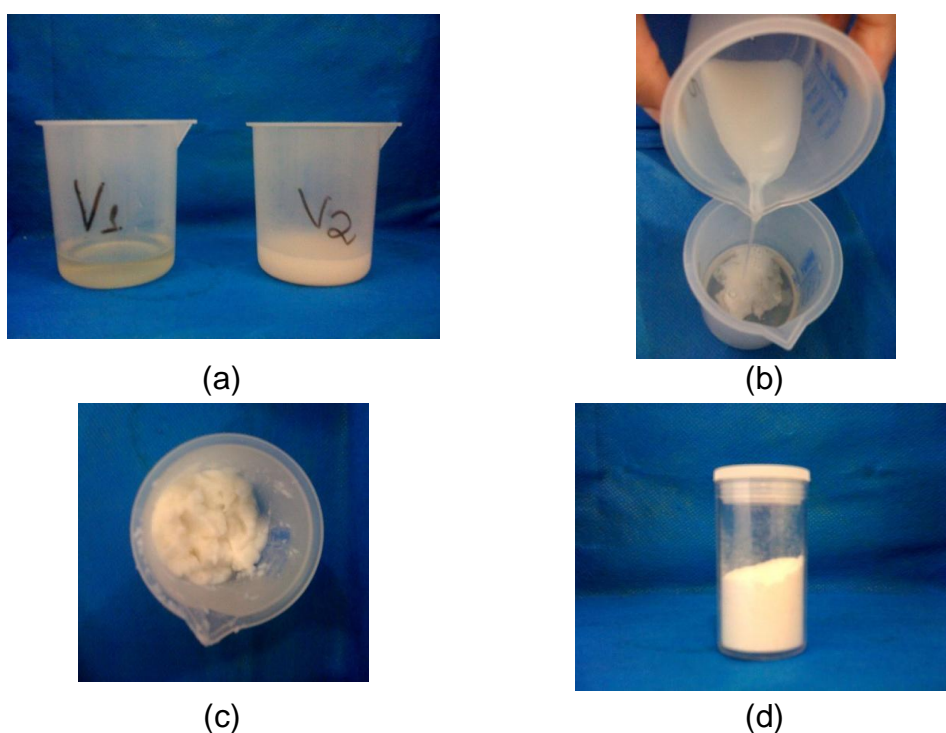
#### 3.5. TESTE DE ADSORÇÃO DA ZEÓLITA SINTÉTICA COM AZUL DE METILENO

Para o teste de adsorção foram utilizadas  $25 \text{ mL}$  de soluções de azul de metileno de 1, 2, 3, ...,  $10 \text{ ppm}$ , e em cada foi adicionado  $\sim 25 \text{ mg}$  de zeólita sintética, agitado por  $5 \text{ min}$  e deixado em repouso por  $60 \text{ min}$ . O monitoramento do adsorbato foi realizado em um espectrofotômetro UV-vis, PS-22 da Biospectro, com comprimento de onda, de maior intensidade, de  $664 \text{ nm}$ .

## 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. SÍNTESE DE ZEÓLITAS

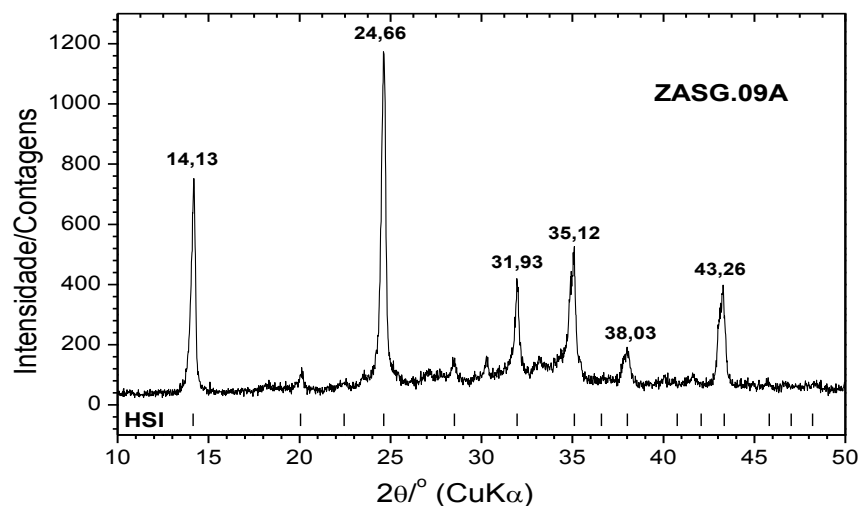
Separadamente foram preparadas as soluções de aluminato de sódio e metassilicato de sódio (Figura 2a) de acordo com a razão estequiométrica da IZA (2012). Após a mistura das soluções formou-se um gel de síntese de coloração branca (Figura 2b) que foi agitado por 24 h, está foi mantida no reator sobre pressão autógena por mais 24 h a 90 °C (Figura 2c). O produto da reação foi lavado com água destilada e seco em estufa, resultando em um pó de coloração branca e bem refinado (Figura 2d).



**Figura 2.**(a) No béquer V1 contem a solução de aluminato de sódio e no béquer V2 contem a solução de metassilicato de sódio. (b) Verte-se o conteúdo do béquer V2 no béquer V1, ocorrendo instantaneamente à formação de um gel de cor branca. (c) Aspecto visual da mistura reacional antes da transferência para o reator. (d) O produto final da síntese após a lavagem e secagem, com aspecto de pó de coloração branca.

Visando redirecionar a formação da zeólita A ou reduzir a formação de outras fases zeólíticas durante a síntese, os parâmetros tempo de agitação e tempo de cristalização foram ajustados a partir das observações feitas nas repetições do processo, buscando assim compensar a influenciada pressão autógena no resultado final da reação. Pois, a pressão

contribui diretamente para que ocorra a etapa de cristalização da zeólita A de forma mais efetiva. Outro fator que interferiu diretamente na síntese foi a etapa de lavagem, está quando não realizada redireciona a cristalização para a formação da fase de hidroxissodalita (HSI), conforme mostrado no difratograma da amostra sintética ZASG.09A (Figura 3).



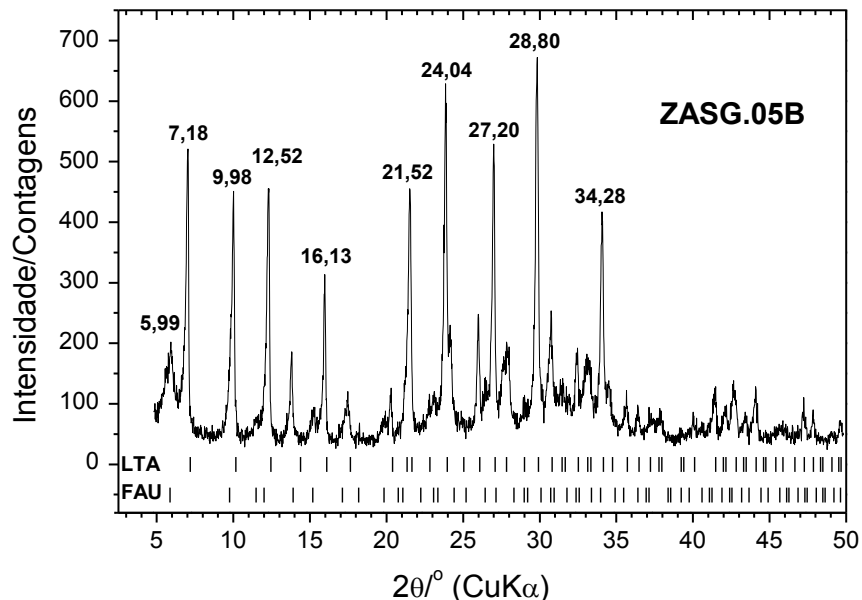
**Figura 3.** Difratograma da amostra ZASG.09A que foi sintetizada sob pressão atmosférica, sem lavagem.

#### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DE ZEÓLITAS

A fase de hidroxissodalitana amostra ZASG.09A (Figura 3) foi confirmada por comparação com a base de dados de DRX da IZA (2012), onde se observa as principais reflexões de 14,13 (110), 24,66 (211), 31,93 (310), 35,12 (222) e 43,26 (330 e 411).

Dessa forma, no processo de cristalização da fase da zeólita A é necessário aplicar uma pressão específica e proceder a lavagem com água destilada até pH ~ 9.

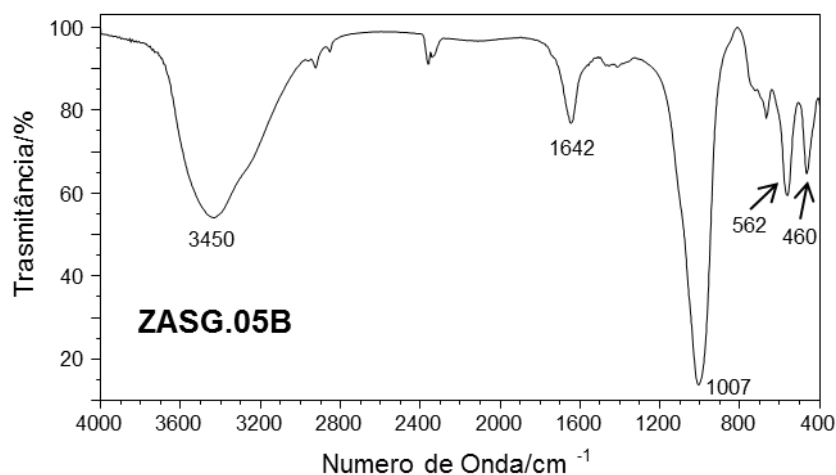
O difratograma da amostra ZASG.05B (Figura 4) revelou reflexões típicas da mistura de zeólita A e zeólita NaX, com base nos dados de DRX da IZA (2012). O padrão gráfico da amostra apresenta a fase majoritária de zeólita A (LTA – Linde Type A), em que se destacamos principais reflexões em 7,18 (200), 9,98 (220), 24,04 (622) e 34,28 °/2θ (664). Porém encontra-se também a fase incipiente de zeólita NaX (FAU - NaX desidratada) identificada pelas reflexões 5,99 (111), 9,98 (220) e 15,46 °/2θ (331).



**Figura 4.** Difratoograma da amostra ZASG.05B. LTA – zeólita A e FAU – zeólita NaX.

O espectro de absorção na região do infravermelho da amostra ZASG.05B (

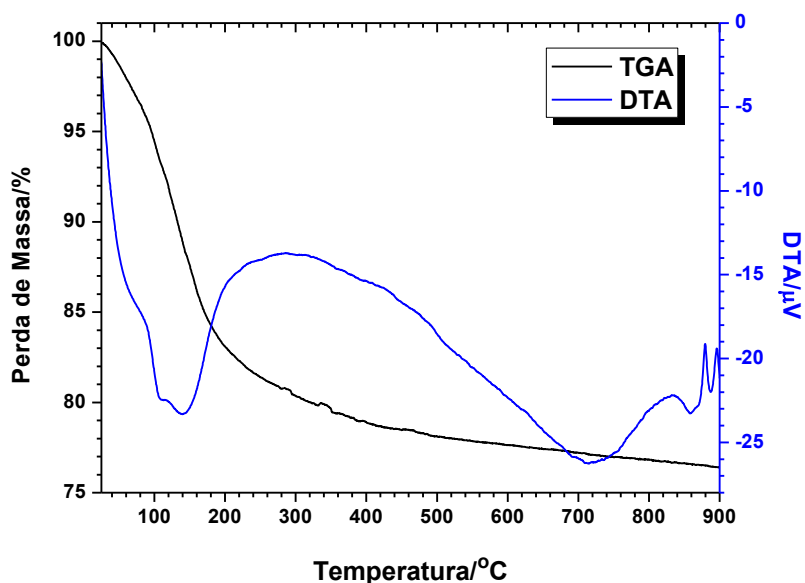
Figura 5) mostra bandas de absorção em 3500 típica de estiramento da ligação O-H e 1600  $\text{cm}^{-1}$  de deformação angular da ligação H-O-H, referentes aos modos vibracionais da água. As bandas em 1007  $\text{cm}^{-1}$  de estiramento assimétrico das ligações Si-O, em 460  $\text{cm}^{-1}$  de estiramento simétrico das ligações Si-O-Si no sítio tetraédrico de  $\text{SiO}_4$ , e 562  $\text{cm}^{-1}$  referente a sobreposição das deformações angulares das ligações Si-O-Si, Al-O-Al ou Al-O-Si.



**Figura 5.** Espectro de absorção no infravermelho da amostra ZASG.05B.

Todas as bandas de vibrações observadas são típicas dos grupos funcionais das LTA e FAU, conforme registrado por Maia e colaboradores (2007).

A curva de TGA da amostra ZASG.05B registrada entre 25 e 900 °C (Figura 6) mostrou perda de massa de ~ 16 % típica de volatilização de água de hidratação ou adsorvida na superfície do material relativo a umidade e de água de constituição do material. Esse comportamento está de acordo com deflexão acentuada iniciando ~ 60 °C e se estendendo até 200 °C na curva de DTA.

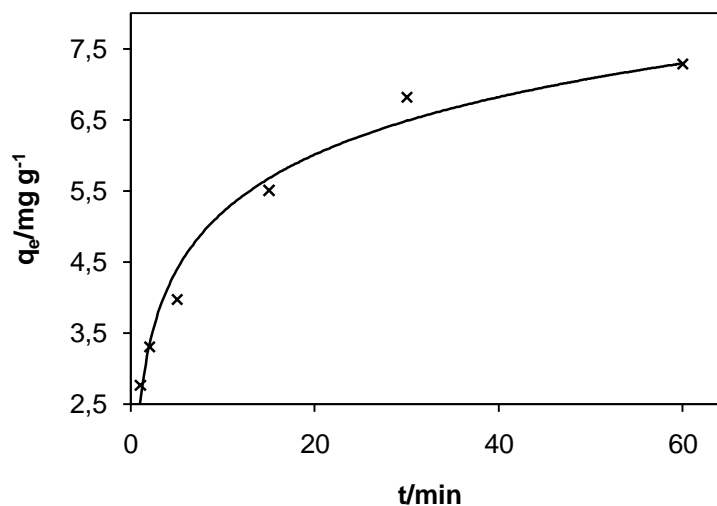


**Figura 6.** Curvas TGA e DTA da amostra ZASG.05B registrada na faixa de temperatura de 25 a 900 °C.

O estudo cinético das reações do azul de metileno adsorvido pelo material adsorvente é de fácil acompanhamento devido à descoloração da solução que apresenta cor azul intensa.

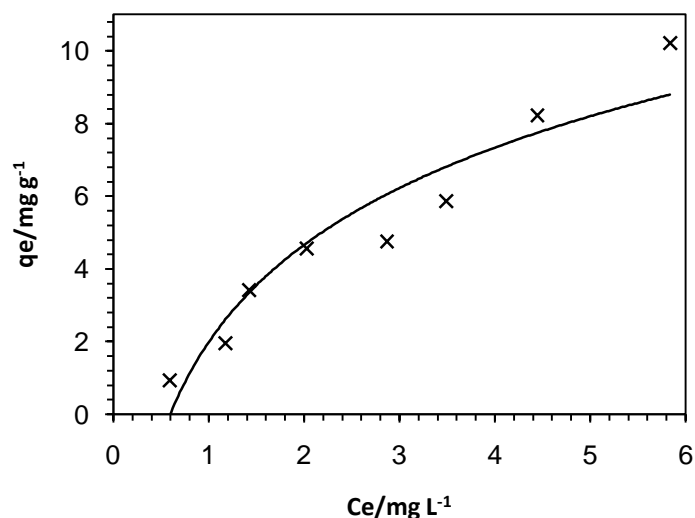
Nesse caso, a curva padrão de absorvância *versus* concentração do azul de metileno (1,0 a 10,0 mg L<sup>-1</sup>) mostrou uma excelente linearidade,  $R \sim 0,997$ . O processo de adsorção ou degradação do azul de metileno pela amostra ZASG.05B (mistura de fases de LTA e FAU) foi avaliado pela concentração final do adsorvato em função do tempo de contato necessário para atingir o equilíbrio de adsorção, com duração de 60 min (Figura 7).





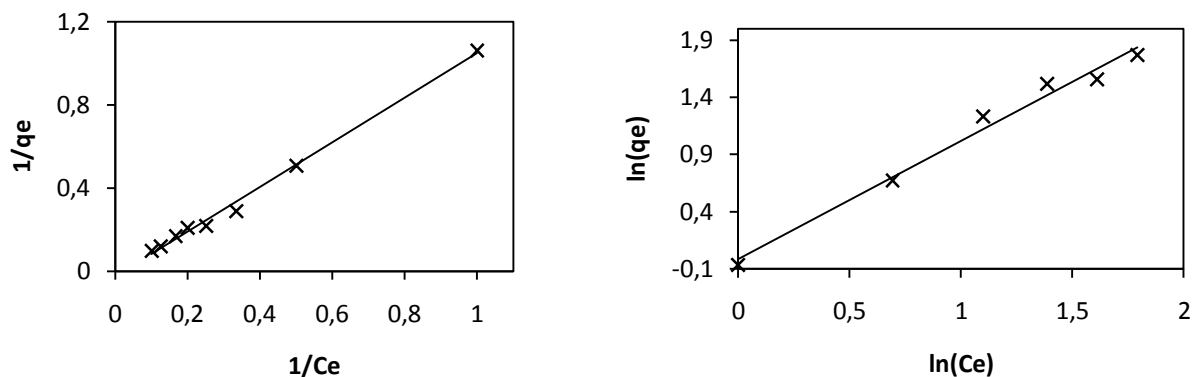
**Figura 7.** Estudo cinético de adsorção do corante azul de metileno pela amostra ZASG.05B.

O padrão gráfico da isoterma de adsorção apresentou forma convexa, o que segundo CUSSLER (1997), está é plenamente favorável, pois grandes quantidades adsorvidas podem ser obtidas com baixas concentrações de amostra ZASG.05B (Figura 8).



**Figura 8.** Representação gráfica da quantidade de adsorvida (azul de metileno) *versus* concentração de azul de metileno em equilíbrio, frente à amostra ZASG.05B.

Os dados de adsorção foram ajustados com os modelos matemáticos linearizados de Langmuir e Freundlich (Figura 9), e os parâmetros foram obtidos a partir das equações da reta dos respectivos modelos (Tabela 1).



**Figura 9.** Ajuste dos dados de adsorção do azul de metileno pela amostra ZASG.05B mediante os modelos de Langmuir (esquerda) e Freundlich (direita).

Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 1, observa-se nesse caso que o modelo de Langmuir é o mais adequado para descrever o fenômeno de adsorção por apresentar um maior valor de coeficiente de correlação da reta,  $R = 0,9914$ .

**Tabela 1.** Parâmetros dos modelos matemáticos de adsorção do azul de metileno pela amostra ZASG.05B.

Amostra	Langmuir			Freundlich		
	$q_0/\text{mg g}^{-1}$	$K_L$	$R$	$K_F$	$N$	$R$
ZASG.05B	-14,9	1,385	0,9914	1,696	0,96	0,9890

O modelo de Langmuir considera a existência de uma estrutura praticamente de monocamada, onde a superfície de um sólido é constituída por um número finito de sítios de adsorção nos quais as moléculas se adsorvem, tal comportamento foi observado neste estudo e confirmado pelo valor do parâmetro  $N = 0,957$  de Freundlich.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o processo de síntese visando a obtenção da zeólita A foi necessário ajustes nos parâmetros de tempo de agitação e tempo de cristalização, e o processo de lavagem com controle de pH próximo de 9.

A caracterização da amostra ZASG.05B pelas técnicas de TGA/DTA, IV-FT e DRX revelaram que o produto final consistiu de mistura de LTA e FAU.

A isoterma de adsorção do azul de metileno pela amostra ZASG.05B apresentou forma convexa, sugerindo que grandes quantidades adsorvidas podem ser obtidas com quantidade de massa reduzida de adsorvato. O estudo de adsorção com azul de metileno mostrou que a amostra ZASG.05B segue o modelo de adsorção de Langmuir em que exprime a capacidade de adsorção por monocamada.

Na próxima etapa deste trabalho, pretende-se sintetizar zeólitas dopadas com os metais, tipo Cu ou Fe, visando a adsorção gases poluentes atmosféricos.

## 6. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

O Quadro 1 mostra o cronograma de atividades realizadas, não realizadas e parcialmente realizadas neste trabalho.

**Quadro 1.** Cronograma de atividades de agosto/2010 a julho/2011.

N.	Descrição	2010					2011						
		Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1	Revisão bibliográfica	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
2	Síntese da zeólita A pura e dopada		R	P	P	N							
3	Caracterização das zeólitas			R	R	P	N						
4	Preparação da apresentação parcial				R								
5	Elaboração do relatório parcial					R	R						
7	Testes de adsorção com zeólitas sem dopagem							R	P	P			
9	Análise dos resultados									R	R	R	
10	Elaboração do Resumo e Relatório Final											R	R
11	Preparação da Apresentação Final para o Congresso												R

Legenda: R– Realizado; P –Parcialmente realizado; N– Não realizado.

## 7. REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S.; Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, v. 25, n. 6, p. 1145-1154, 2002.

AIELLO, R.; NAGY, J. B.; GIORDANO, G.; KATOVIC, A.; TESTA, F.; Isomorphoussubstitution in Zeolites. *ComptesRendusChimie*, v. 8, n. 3-4, p. 321-329, 2005.

BRAUN, S; APPEL, L.; SCHMAL, M.; A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas a diesel - a questão dos particulados: Estratégias atuais para a redução e controle das missões e tendências futuras. *Química Nova*, v. 27, p. 472-482, 2003.

BRITO, N. C.; Estudo das normas sobre emissão de gases poluentes no Brasil e seu impacto na produção empresarial, 2011. Disponível em <http://jus.com.br/revista/texto/19061/estudo-das-normas-sobre-emissao-de-gases-poluentes-no-brasil-e-seu-impacto-na-producao-empresarial>. Acessado em 09 de janeiro de 2012.

CANO, M. L.; CORMA, A.; FORNÉS, V.; GARCÍA, H.; Acid zeolites as elétron-acceptors - Generation of xanthylium, dibenzotropylium, and fluorenyliumcations from their corresponding hydrides though an electron-transfer mechanism.*JournalofPhysicalChemistry*, v. 99, n. 12, p. 4241-4246, 1995.

CETESB: Qualidade do ar no estado de São Paulo 2010. Série Relatórios/CETESB, São Paulo, CETESB, 2011, p. 234. (ISSN 0103-4103)

CONAMA. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>. Acessado em 11 de dezembro de 2012.

CORRÊA, M. L. S.; WALLAU, M.; SCHUCHARDT, U.;Zeólitas do tipo AIPO: síntese, caracterização e propriedades catalíticas. *Química Nova*, n. 19, v. 1, p. 43-50, 1996.

CUSSLER, E. L. *Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems*. 2<sup>nd</sup>, Ed. Cambrigde University, Cambridge, New York, 1997, 580 p.

GIANNETTO, G. P: *Zeolitas: características, propiedades y aplicacionesindustriales*, Ed. Innovación Tecnológica: Caracas - Venezuela, 1990.

HIRATSUKA, R. S.; SANTILLI, C. V.; PULCINELLI, S. H.; O processo sol-gel: Uma visão físico-química. *Química Nova*, v. 18, n. 2, p. 171-180, 1995.

IZA – InternationalZeoliteAssociation. Disponível em: <http://www.iza-structure.org/default.htm>. Acessado em 19 janeiro de 2012.

- JEWUR, S. S.; Química de zeólitas e catálise. Química Nova, v. 8, p. 99-105, 1985.
- KO, Y. S.; AHN, W. S.: Isomorphous substitution of Fe<sup>3+</sup> in zeolite LTL. Microporous Materials, v. 9, n. 3-4, p. 131-140, 1997.
- LIMA, S. H.; SILVA, A. O. S.; SOUZA, M. J. B.; ARAUJO, A. S.; FERNANDES Jr., V. J.; CARVALHO, J. M.; SILVA, A. J. N.; Síntese, Caracterização e Aplicação Catalítica das Zeólitas HZSM-5 e HZSM-12 na desidratação de etanol. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2004.
- LIMA, Y. S.; GUIMARÃES, P. R. B.; CARVALHO, L. S.; FAGUNDES, R. C.; SILVA, A. G.; LISBOA, D. O.; Estudo da Capacidade de Adsorção de CO<sub>2</sub> Em Zeólita 13X para a Separação de Gases Industriais. 4º PDPETRO, Campinas, SP, 2007.
- LISBOA, H. M.; KAWANO, M.; Controle da poluição Atmosférica, 2007. Disponível em <http://www.lcqar.ufsc.br/adm/aula/Cap%204%20Monitoramento%20da%20QUALIDADE%20DO%20AR.pdf>. Acessado em 17 de janeiro de 2012.
- LUNA, F. J.; SCHUCHARDT, U.; Modificação de Zeólitas para Uso em Catálise. Química Nova, v. 24, n. 6, p. 885-892, 2001.
- MAIA, A. A. B.; SALDANHA, E.; ANGÉLICA, R. S.; SOUZA, C. A. G.; NEVES, R. F.; Utilização de rejeito de caulim da Amazônia na síntese da zeólita A. Cerâmica, v. 53, n. 327, p. 319-324, 2007.
- MARTINS, L.; CARDOSO, D.; Aplicação catalítica de peneiras moleculares básicas micro e mesoporosas. Química Nova, v. 29, n. 2, p. 358-364, 2006.
- MASTERS, A; MASCHMEYER, T.; Zeolites - From curiosity to cornerstone. Microporous and Mesoporous Materials, v. 142, n. 2-3, p. 423-438, 2011.
- MORAES, M. R. F. S.; JESUS, D. B.; SANTOS, C. D.; MACHADO, S. W. M.; PEDROSA, A. M. G.; SOUZA, M. J. B.; Síntese e caracterização de catalisadores zeolíticos do tipo ZSM-12 utilizando diferentes fontes de alumínio. Scientia Plena, v. 6, n 12, 2010.
- OLIVEIRA, G. G.; MACHADO, N. R. C. F.; SANTOS, O. A. A.; Catalisadores preparados pelo método Sol-Gel aplicados na fotodegradação de corantes. In: XXI Congresso Interamericano de Ingeniería Química/VIII Congreso Peruano de Ingeniería Química, 2005, Lima-Perú. I Congreso Interamericano de Ingeniería Química/VIII Congreso Peruano de Ingeniería Química, 2005. v. 1. p. 1-9.
- RIETVELD, H.M.; A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. Journal of Applied Crystallography, v. 2, n. 2; p. 65-71, 1969.

RIGO, R. T.; PERGHER, S. B. C.; PETKOWICZ, D. I.; SANTOS, J. H. Z.; Um novo procedimento de síntese da zeólita A empregando argilas naturais. *Química Nova*, v. 32, n. 1, p. 21-25, 2009.

RÍOS, C.A.; WILLIAMS, C.D.; FULLEN, M.A: Nucleation and growth history of zeólita LTA synthesized from kaolinite by two different methods. *Applied Clay Science*, v. 42, p. 446-454, 2009.

SANTOS, H. C. C.; RANGEL, J. H. G.; PESSÔA, P. A. P.; SANTOS, L. P. S.; LONGO E.;Preperação de catalisadores heterogêneos à base de SnO<sub>2</sub> dopados com Ni. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa-PB. 2007.

SILVA, M. L. P.; Síntese e caracterização de peneiras moleculares mesoporosas do tipo MCM-41 e AIMCM-41 a partir de fontes alternativas de sílica e de alumínio. f. 82, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte: Natal, 2009.

SOUSA, C. D. C.; Síntese e modificação com ferro de zeólitaferrierita visando a redução catalítica de NO<sub>x</sub> com propano. f. 100, Dissertação de Mestreado, Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2007.

SOUZA, Z. J.; AZEVEDO, P. F. O Mercado de Crédito de Carbono: as características dos first-movers e implicações para o agronegócio. Artigo apresentado no XLIII Congresso da Sober (Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural). Ribeirão Preto 24 a 27 de Julho de 2005. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, SP.

UGUCIONE, C.; GOMES NETO, J. A.; CARDOSO, A. A.; Método colorimétrico para determinação de dióxido de nitrogênio atmosférico com pré-concentração em coluna de C-18. *Química Nova*, v. 25, n 3, p. 353-357, 2002.

YANG, R. T.;Adsorbents: Fundamentals and application. Ed. John Wiley & Sons, 2003, p. 410.