

Norma para a Elaboração Gráfica de Teses

PEQ/UEM

Introdução

As teses deverão ser aprovadas quanto ao formato, pela Coordenação do PEQ e quanto à apresentação gráfica, pelo orientador, de acordo com a presente regulamentação. Serão recusados os originais das teses que não estiverem de acordo com as normas aqui descritas.

A tese deve ser formatada em A-4 (210 mm x 297 mm), espaçamento de 1,5 entre linhas, com letra de tamanho equivalente a Arial 11 ou 12. O texto da tese deverá obedecer as margens mínimas mostradas no Anexo I, sendo justificado (alinhado) nas margens direita e esquerda.

A tese constará das seguintes partes principais: preliminares, corpo principal e elementos de complementação.

1 - Preliminares

ESTES ITENS DEVEM SER APRESENTADOS NA SEGUINTE SEQUÊNCIA:

- a) Folhas de rosto, que não devem ter o número de página, seguem o modelo dos Anexos II e III, onde a data no Anexo II se refere ao **mês e ano da defesa**;
- b) Ficha catalográfica, de acordo com o padrão da BCE (Anexo IV);
- c) Dedicatória (opcional);
- d) Agradecimentos (opcional);
- e) Resumo em português e inglês (contidos em no máximo duas páginas cada), seguem o modelo dos Anexos V e VI;
- f) Índice do texto;
- g) Índice de figuras;
- h) Índice de tabelas;
- i) Lista de símbolos ou nomenclatura: consiste na relação dos símbolos usados no texto, em ordem alfabética com suas respectivas denominações. Os símbolos gregos devem ser listados após os latinos, também em ordem alfabética. Alternativamente, cada capítulo pode ter a sua lista de símbolos, que deve ser localizada no início do mesmo, após o título.

j) Sumário (contendo os Capítulos e a página)

Cada um desses itens deve iniciar-se em uma página própria, e a ordenação deve ser feita por letras romanas minúsculas: i, ii, iii, iv, v, vi, etc.

2 – Corpo principal

O corpo principal deverá conter uma introdução, uma descrição do estado da arte relativo ao tema de tese, o seu desenvolvimento e as conclusões obtidas. As referências bibliográficas citadas deverão ser listadas conforme as normas da ABNT (NBR 6023).

Os capítulos existentes devem ser numerados em algarismos arábicos, e terão início sempre em uma nova página. As páginas deverão ser numeradas sequencialmente em algarismos arábicos. A numeração deverá ser posicionada no início da página (cabeçalho 1,5 cm), na lateral direita.

3 – Elementos de complementação da tese

3.1 – Referências bibliográficas : a apresentação da bibliografia está baseada nas normas da NBR 6023 DA ABNT (<http://www.usjt.br/arg.urb/arquivos/abntnabr6023.pdf>) .Na lista de referências no final da tese, elas estarão em ordem alfabética.

A lista de referências, ao final da tese, deve fornecer ao leitor as informações precisas para facilitar qualquer consulta. Quando a referência tiver até três autores, mencionam-se todos, na ordem em que aparecerem na publicação. Caso haja mais de três autores, mencionam-se até os três primeiros seguidos da expressão “et al.”. Nas citações no corpo do texto, a expressão “et al.” É utilizada para todos os trabalhos com mais de dois autores.

4 – Figuras, Tabelas e Equações

Gráficos, figuras, fotografias e tabelas devem ser inseridas no mesmo gabarito das folhas do texto, de acordo com o Anexo I.

Figuras e tabelas devem ser obrigatoriamente numeradas, de forma sequencial, e citadas no texto. As tabelas devem ser precedidas do seu título. As legendas das figuras devem ser posicionadas imediatamente abaixo das mesmas.

Equações devem ser identificadas com uma numeração na lateral direita da página de forma sequencial.

Margem superior: 2.5 cm

ANEXO I

margens: esquerda 3,0 cm, direita: 2,5 cm

margem inferior: 2.5 cm

ANEXO II – FOLHA DE ROSTO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

AVALIAÇÃO DO MECANISMO DE TROCA IÔNICA DE CROMO EM SISTEMAS ZEOLÍTICOS

Maria Angélica Simões Dornellas de Barros
Eng^o Químico, UEM, 1994
Mestre Eng^a Química, UEM, 1996
Orientador: Prof^a Dr^a Célia R. Granhen Tavares
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo F. Sousa-Aguiar
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Augusto Arroyo

Tese de Doutorado submetida à Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Química, área de Desenvolvimento de Processos.

Maringá – PR – Brasil
Abril de 2003

**ANEXO III – PRIMEIRA FOLHA APÓS A FOLHA DE ROSTO – DEVE SER
ESCANEADA COM AS ASSINATURAS**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da Tese de Doutorado apresentada por Maria Angélica Simões Dornellas de Barros perante a Comissão Julgadora do Curso de Doutorado em Engenharia Química em 25 de abril de 2003.

COMISSÃO JULGADORA

Profª Drª Célia Regina Granhen Tavares
Orientadora

Prof. Dr. Eduardo Falabella Sousa-Aguiar.
Coorientador

Prof. Dr. Pedro Augusto Arroyo.
Coorientador

Prof. Dr. Célio Loureiro Cavalcante
Membro

Prof. Dr. Edson Antonio da Silva
Membro

Profª Drª Eneida Sala Cossich
Membro

ANEXO IV – FICHA CATALOGRÁFICA – BCE

CONSULTAR A BCE

40 CARACTERES



BARROS MARIA ANGÉLICA SIMÕES DORNELLAS DE
Avaliação do Mecanismo de Troca Iônica de Cromo em Sistemas
Zeolíticos [Paraná] 1993

XVI, 179 p. 29,7 cm (PEQ/UEM, Dr.,
Engenharia Química, 2003)

Tese - Universidade Estadual de Maringá-PEQ

1. Troca iônica
2. Cromo
3. Zeólitas

I. PEQ/UEM II. Título (série)

**OBSERVAÇÃO: CASO DESEJE INCLUIR NA SEQUÊNCIA: DEDICATÓRIA E
AGRADECIMENTOS (CADA UM EM UMA PÁGINA).
VEJA UMA TESE DO PROGRAMA.**

ANEXO V

AVALIAÇÃO DO MECANISMO DE TROCA IÔNICA DE CROMO EM SISTEMAS ZEOLÍTICOS

AUTOR: MARIA ANGÉLICA SIMÕES DORNELLAS DE BARROS

ORIENTADOR: PROF^a Dr^a. CÉLIA REGINA GRANHEN TAVARES

COORIENTADOR: PROF. Dr. EDUARDO FALABELLA SOUSA-AGUIAR

COORIENTADOR: PROF. Dr. PEDRO AUGUSTO ARROYO

Tese de Doutorado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46 – 09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brasil, defendida em 25 de abril de 2003. 179 p.

RESUMO

O cromo é um dos principais cátions de metais pesados utilizados em indústrias de curtimento. Quando liberado inadequadamente em corpos receptores, contamina de forma danosa o ambiente. Varias tecnologias têm sido propostas para a redução desta contaminação. Dentre elas, a troca iônica em zeólitas surge como uma alternativa atrativa, pois envolve um processo de fácil operação e de custos relativamente baixos. Para uma possível aplicação de zeólitas como trocadores iônicos no tratamento de efluentes, torna-se necessário compreender o mecanismo de remoção do cromo de soluções mono e multicomponentes.

Portanto, o objetivo desta tese foi avaliar o mecanismo de remoção de cromo de soluções mono e multicomponentes em sistemas batelada e dinâmico utilizando as zeólitas NaA, NaX e NaY. Neste trabalho, também foram avaliados os modelos matemáticos apresentados por CUSSLER (1997) e SILVA (2001) para a modelagem das curvas de ruptura.

Os reagentes utilizados neste trabalho foram cloretos de cromo, potássio, magnésio, cálcio e sódio que originaram as soluções monocomponentes e, também, as bicomponentes Cr/K, Cr/Mg e Cr/Ca, tricomponentes Cr/Mg/K,

Cr/Ca/K e Cr/Ca/Mg, além da tetracomponente Cr/Ca/Mg/K e tetracomponente contendo sódio Cr/Ca/Mg/K/Na.

As isotermas em batelada foram obtidas nas temperaturas de 30, 45 e 60°C sem correção de pH. Estas se mostraram favoráveis à remoção de todos os cátions inicialmente em solução. No entanto, o tipo de zeólita, temperatura e cátions envolvidos no processo de troca iônica alteraram significativamente a ordem de seletividade em cada sistema. Em todos os casos avaliados, mesmo para trocas tetracomponentes, a zeólita NaY mostrou-se como a mais indicada para a remoção de cromo, possivelmente devido à sua estrutura tridimensional e razão Si/Al, que permitiram a melhor estabilidade termodinâmica para os íons cromo trivalentes hidratados na fase zeolítica. A presença de sódio em solução alterou o mecanismo de troca dos contra-íons e favoreceu a remoção de cromo. Portanto, pode-se supor que haja uma forte interação entre os cátions Na⁺ e Cr³⁺.

Os ensaios dinâmicos foram realizados em coluna de leito fixo de fluxo ascendente a 30°C. Inicialmente foram obtidas as condições operacionais que minimizaram as resistências difusionais. Tais condições foram: vazão de 9 mL/min e diâmetro médio de partículas de zeólita de 0,180 mm. Também em condições dinâmicas a zeólita NaY mostrou-se mais eficiente para a remoção de cromo tanto de soluções mono como multicomponentes. A presença de sódio favoreceu a remoção de cromo também nestes sistemas.

Quanto à modelagem, foi observado que o modelo de CUSLER (1997) não se ajustou adequadamente aos dados experimentais pois a hipótese que impõe a condição de isoterma irreversível não foi satisfeita. Porém, o modelo de SILVA (2001), que utiliza isotermas obtidas em condições dinâmicas, ajustou-se adequadamente aos dados experimentais quando foram utilizados leitos com alturas de coluna semelhantes.

Palavras chave (separadas por ;): Zeólita, Troca Iônica, Cromo, Multicomponente (mínimo 3 máximo 6)

ANEXO VI

EVALUATION OF ION EXCHANGE MECHANISM OF CHROMIUM IONS IN ZEOLITIC SYSTEMS

AUTHOR: MARIA ANGÉLICA SIMÕES DORNELLAS DE BARROS

SUPERVISOR: PROF. DR. CÉLIA REGINA GRANHEN TAVARES

COSUPERVISOR: PROF. DR. EDUARDO FALABELLA SOUSA-AGUIAR

COSUPERVISOR: PROF. DR. PEDRO AUGUSTO ARROYO

Doctoral Thesis; Chemical Engineering Graduate Program; State University of Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46 – 09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brazil, presented on 25th April 2003. 179 p.

ABSTRACT

Chromium is one of the main heavy metal cations used in tannery industries. It damages the environment when it is not adequately released to the receiving waters. Many technologies have been proposed to reduce such contamination. Ion exchange in zeolites is one of them and it is an interesting alternative because it involves an easy operation process with relatively low costs. In order to use zeolites as ion exchanger in wastewater treatment, it is important to understand the chromium uptake when it is present in mono and multicomponent solutions. Therefore, the objective of this work was to evaluate the mechanism of chromium uptake from such solutions. The ion exchange was studied in batch and dynamic systems using the zeolites NaA, NaX and NaX. This work also aimed at evaluating the mathematical models provided by CUSSLER (1997) e SILVA (2001) in order to model the breakthrough curves. The reactants used in this work were chromium, potassium, magnesium, calcium and sodium chlorides that originated not only the monocomponent solutions, but also the bicomponent ones Cr/K, Cr/Mg and Cr/Ca, the tricomponent ones Cr/Mg/K, Cr/Ca/K and Cr/Ca, the tetracomponent Cr/Ca/Mg/K solution and finally the tetracomponent solution plus sodium, that is Cr/Ca/Mg/K/Na.

The batch isotherms were obtained at 30, 45 and 60°C without pH correction. They seemed to be favorable to all in-going ions. Nevertheless, factors such as the zeolite type, temperature and the species of in-going cations changed significantly the selectivity order in each system. In all cases, even for the ion exchange process involving four ions, zeolite NaY provided the best results for chromium uptake. Possibly it occurred due to its three-dimensional structure and Si/Al ratio that allowed the best thermodynamic condition for the hydrated chromium ions in the zeolitic phase. The presence of sodium ions in the tetracomponent solution changed the ion exchange mechanism of the outgoing ions and favored the chromium uptake. Therefore, one may presume that a strong interaction between Na^+ and Cr^{3+} took place.

The dynamic runs were carried out in fixed bed columns operated up flow at 30°C. Initially the best operational conditions that minimized the diffusional resistances were obtained. Such conditions were flow rate of 9 mL/min and a zeolite pellet of 0.180 mm. Also under dynamic conditions the zeolite NaY was more efficient for chromium uptake for mono and even multicomponent solutions. The presence of sodium ions favored the chromium uptake as well. Concerning the mathematical models, it was observed that the model presented in CUSSLER (1997) did not fit well the experimental data because the hypothesis of irreversible isotherm was not satisfied. On the other hand, the model presented in SILVA (2001) was very well adjusted to the breakthrough curves with similar bed heights whenever isotherms obtained in dynamic conditions were used.

Keywords (separadas por ;): Zeolite, Ion Exchange , Chromium, Multicomponent

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-	1.
Figura 1.1.-	20

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.-	1.
Tabela 1.1.-	20

NOMENCLATURA OU LISTA DE SÍMBOLOS

D – diâmetro

R – Raio

α - constante adimensional

μ - viscosidade

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Objetivos	3
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 – Biodiesel	19
2.1.1. – Especificações do biodiesel	21
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	
CAPÍTULO 6 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	
CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

DEVE-SE ADOTAR UM PADRÃO PARA ESTE SUMÁRIO