

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

ANA PAULA DOS SANTOS BATISTA

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE
TURFAS *IN NATURA* E MODIFICADAS E SUA APLICAÇÃO NA
REMOÇÃO DE Cr(III)

SÃO CRISTÓVÃO

2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS
DE TURFAS *IN NATURA* E MODIFICADAS SUA APLICAÇÃO
NA REMOÇÃO DE Cr(III)**

ANA PAULA DOS SANTOS BATISTA

Dissertação apresentada ao Núcleo de
Pós-Graduação em Química da
Universidade Federal de Sergipe como
um dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciane Pimenta Cruz Romão
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia

SÃO CRISTÓVÃO
2008

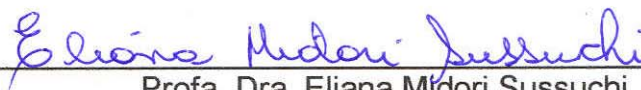
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

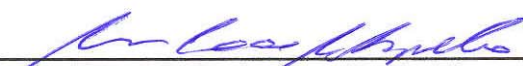
Membros da Comissão Julgadora de Dissertação
de Mestrado de Ana Paula dos Santos Batista
apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação em
Química da Universidade Federal de Sergipe, em
25/03/2008.



Profa. Dra. Luciane Pimenta Cruz Romão
DQI, UFS



Profa. Dra. Eliana Midori Sussuchi
DQI, UFS



Profa. Dra. Maria de Lara P. de Macedo Arguelho Beatriz
DQI, UFS

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

B333c Batista, Ana Paula dos Santos
Caracterização das propriedades físico-químicas de
turfas *in natura* e modificadas sua aplicação na
remoção de Cr(III) / Ana Paula dos Santos Batista. –
São Cristóvão, 2008.
64 f. ; il.

Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento
de Química, Núcleo de Pós-Graduação em Química,
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade
Federal de Sergipe, 2008.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciana Pimenta Cruz
Romão.

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Borges
Garcia.

1. Físico – química. 2. Análise de solos – Turfas. 3.
Adsorção – Cromo - Solos - Municípios sergipanos. I.
Título.

CDU 54.08:546.76:544..723.2

Dedico este trabalho ao meu
Deus Criador, aos meus pais e
ao grupo LQA.

AGRADECIMENTOS

Reconheço que esse trabalho é fruto de um esforço coletivo.

Agradeço primeiramente ao meu Deus. Ele é minha força nos momentos difíceis. Ele me ajudou desde o início até o fim desse mestrado. Eu pude mais uma vez comprovar como Ele é bom, justo e misericordioso, sempre pronto a ajudar.

Muito grata estou ao meu pai, José Batista Filho, por me dar subsídios nesse mestrado, apoiando-me sempre. Também a minha mãe, Antônia Maria dos S. Batista, por dedicar tempo e vida aos filhos.

Ao meu querido Levi Souza pelo apoio emocional nos momentos críticos que passei durante o mestrado. Você é meu presente divino.

A Prof^a. Dr^a. Luciane Pimenta Cruz Romão pela confiança e orientação, com quem aprendi a ter responsabilidade e compromisso desde os tempos de graduação.

Aos professores Dr^a. Maria de Lara P. M. Arguelho, Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia, Dr. Adauto de Souza Ribeiro, Dr. José do Patrocínio Hora Alves, pelo ajuda durante o curso.

Aos técnicos do Departamento de Química, Edinalva, Elisa, Ismael, Jane, Ricardo e Rivair.

Aos amigos queridos: Ruth Carmo, Elisangela, Adilson, Nice, Elaine, Pereira, Elias e Luiz. Deus abençoe a todos ricamente, pois a amizade de vocês me ajudou a prosseguir. Muito obrigada!!!!

Luciano, muito obrigada por sua amizade desde a graduação. Obrigada pelos conselhos, dicas e puxões de orelha. E espero que isso se perpetue durante o doutorado nos próximos anos. Amém.

Aos meus amigos da Igreja Adventista do 7º Dia do Jardim Centenário pelas palavras de consolo e orações.

Ao Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista – Campus Araraquara pela Microscopia Eletrônica de Varredura e Difratomia de Raios-X das amostras de turfas desse trabalho.

Aos bolsistas do Laboratório de Química Analítica Ambiental (LQA).

À CAPES pelo apoio financeiro.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para realização desse trabalho. Muito obrigada.

RESUMO DO CURRICULUM VITAE

Dados Pessoais

Nome	Ana Paula dos Santos Batista
Filiação	José Batista Filho e Antônia Maria dos Santos Batista
Nascimento	19/04/1982 - Aracaju/SE - Brasil
Carteira de Identidade	1057651 SSP - SE - 01/09/1999
CPF	57427755553
Endereço residencial	Rua g-2, n. 80 Bugio - Aracaju 49090-780, SE - Brasil telefone: 79 99242844
Endereço eletrônico	e-mail para contato : anapaula@ufs.br e-mail alternativo : nocomputador@hotmail.com

Formação Acadêmica/Titulação

2006-2008	Mestrado em Química. Universidade Federal de Sergipe, UFS, São Cristóvão, Brasil Título: Caracterização das propriedades físico-químicas de turfas <i>in natura</i> e modificadas e sua aplicação na remoção de Cr(III) Orientadora: <i>Luciane Pimenta Cruz Romão</i> <i>Bolsista do(a): Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior</i>
2002 - 2005	Graduação em química. Universidade Federal de Sergipe, UFS, São Cristóvão, Brasil

Atuação profissional

1. Universidade Federal de Sergipe - UFS

11/2006 -02/2008	Conselhos, Comissões e Consultoria, Núcleo de Pós-Graduação em Química <i>Especificação:</i>
------------------	---

Representante dos Discentes do Curso de Mestrado

04/2007 - 07/2007 Graduação, química

Disciplinas Ministradas:

Laboratório de química , Química analítica agrícola II

02/2005 -08/2005 *Estágio, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia*

Estágio:

projeto: qualidade da água das fontes de abastecimento do Estado de Sergipe - LQA

04/2003 - 06/2004 *Estágio, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia*

Estágio:

Laboratório de Combustíveis e Poluentes - LCP

Áreas de atuação

1. Análise de Traços e Química Ambiental

Idiomas

Inglês	Compreende Bem , Fala Razoavelmente, Escreve Razoavelmente, Lê Bem
Espanhol	Compreende Razoavelmente , Fala Pouco, Escreve Pouco, Lê Razoavelmente

Produção em C, T & A

Produção bibliográfica

Comunicações e Resumos Publicados em Anais de Congressos ou Periódicos (resumo)

1.  BATISTA, A. P. S., ROMAO, L. P. C., Bellin, I. C., CERQUEIRA, S. C. A., Elisangela Andrade Passos
CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA TURFA IN NATURA E MODIFICADA E SUA APLICAÇÃO NA REMOÇÃO DE CR(III) In: VII ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2007, Florianópolis.
VII ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS. , 2007.
2.  BATISTA, A. P. S., ROMAO, L. P. C., Luciano Evangelista Fraga, Elisangela Andrade Passos, CERQUEIRA, S. C. A., SILVA, N. C. N.
EFEITO DO TRATAMENTO QUÍMICO NA REMOÇÃO DE CRÔMIO (III) POR TURFA In: 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química,

2007, águas de lindóia.

30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. , 2007.

Palavras-chave: tratamento químico, turfa, adsorção, crômio

Áreas do conhecimento : Análise de Traços e Química Ambiental

Setores de atividade : Produtos e serviços voltados para a defesa e

proteção do meio ambiente, incluindo o desenvolvimento sustentado

★ CERQUEIRA, S. C. A., ROMAO, L. P. C., Bellin, I. C., BATISTA, A. P. S., CUNHA, B.B., Arguelho, M. L. P. M.

REDUÇÃO/ADSORÇÃO DE CROMO POR TURFA E HUMINA In: 30ª

3. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2007, águas de lindóia.

30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. , 2007.

Palavras-chave: turfa, humina, redução, adsorção, cromo (VI)

Áreas do conhecimento : Análise de Traços e Química Ambiental

★ CERQUEIRA, S. C. A., ROMAO, L. P. C., Bellin, I. C., BATISTA, A. P. S., GARCIA, C. A. B, Arguelho, M. L. P. M.

REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE POR COMPONENTES DE MATÉRIA ORGÂNICA In: II Iberoamericano y IV Congreso Argentino de

4. Química Analítica., 2007, Buenos Aires.

II Iberoamericano y IV Congreso Argentino de Química Analítica.. , 2007.

Palavras-chave: remoção, cromo (VI)

Áreas do conhecimento : Análise de Traços e Química Ambiental

★ BATISTA, A. P. S., ROMAO, L. P. C., CERQUEIRA, S. C. A., Luciano Evangelista Fraga, Elisangela Andrade Passos, Arguelho, M. L. P. M.

UTILIZAÇÃO DA TURFA E HUMINA COMO BIOSORVENTES NA

5. REMOÇÃO DE METAL TRAÇO EM SOLUÇÃO AQUOSA In: 14º ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA ANALÍTICA, 2007, JOÃO PESSOA.

14º ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA ANALÍTICA. , 2007.

Eventos

Participação em eventos

Apresentação de Poster / Painel no(a) **VII ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS**, 2007. (Encontro)

1. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA TURFA IN NATURA E MODIFICADA E SUA APLICAÇÃO NA REMOÇÃO DE CR(III).

Apresentação de Poster / Painel no(a) **30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, 2007. (Congresso)

2. EFEITO DO TRATAMENTO QUÍMICO NA REMOÇÃO DE CRÔMIO (III) POR TURFA.

Apresentação de Poster / Painel no(a) **14º ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA ANALÍTICA**, 2007. (Encontro)

3. UTILIZAÇÃO DA TURFA E HUMINA COMO BIOSORVENTES NA REMOÇÃO DE METAL TRAÇO EM SOLUÇÃO AQUOSA.

4. **I Semana Acadêmica de Química**, 2007. (Outra)
.
5. **1º Workshop de Química Ambiental**, 2007. (Outra)
.
6. **III Semana Acadêmica de Química**, 2005. (Seminário)
Contextualizando o ensino de química.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE ABREVIATURAS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Metal traço: crômio	1
1.2. Técnicas para tratamento de efluentes	3
1.3. Biossorção	5
2. OBJETIVOS	10
2.1. Geral	10
2.1. Específicos	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1. Equipamentos	11
3.2. Reagentes	11
3.3. Soluções	12
3.3.1. Solução estoque de ácido clorídrico 1,0 e 0,10 mol.L ⁻¹	12
3.3.2. Solução estoque de ácido nítrico 50% e 10%	12
3.3.3. Solução estoque de hidróxido de sódio 1,0 e 0,10 mol.L ⁻¹	12
3.3.4. Solução estoque de crômio (III) 500 mg.L ⁻¹	12
3.4. Coleta e preparo das amostras	12
3.5. Caracterização das amostras de turfa	14
3.5.1. Análise Elementar	14
3.5.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	14
3.5.3. Difratometria de Raios-X (DRX)	15
3.6. Tratamento químico	15

3.6.1. Tratamento químico com HCl 1,0 mol.L ⁻¹	15
3.6.2. Tratamento químico com HCl + NaOH 1,0 mol.L ⁻¹	15
3.7. Experimentos de adsorção.....	16
3.7.1. Determinação do tempo de equilíbrio	17
3.7.2. Efeito do pH	17
3.7.3. Construção de isoterma de adsorção	17
3.8. Determinação de Cr(III)	18
3.9. Teste estatístico.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
4.1. Caracterização das amostras de turfas.....	19
4.1. Determinação do tempo de equilíbrio.....	24
4.2. O efeito do pH	29
4.3. Isotherma de adsorção.....	32
5. CONCLUSÕES	36
6. PROPOSTAS FUTURAS	38
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
ANEXO	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Molécula de substâncias húmicas presente na turfa.....	7
Figura 2 - a) Amostragem: Santo Amaro das Brotas-SE; b) Medição da profundidade; c) Operação de coleta da amostra.....	13
Figura 3 - a) Secagem da turfa ao ar; b) Amostra seca; c) Trituração das amostras; d) Amostra após peneiramento.	14
Figura 4 - a) agitador mecânico; b) filtração utilizando unidade de filtro de 0,45 μm acoplado a seringa de 20 mL.....	16
Figura 5 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) (a) Turfa SAO, (b) Turfa SAP e (c) turfa ITA: (i) <i>in natura</i> , (ii) Tratada com HCl e (iii) tratada com HCl + NaOH.	22
Figura 6 - Difratometria de Raio-X (DRX) das amostras de turfa: (a) turfa SAO (b) turfa SAP e (c) turfa ITA- (i) <i>in natura</i> , (ii) tratamento com HCl e (iii) tratamento com HCl + NaOH.....	23
Figura 7 - Adsorção de Cr(III) após 72 horas em contato com turfa <i>in natura</i> do município de Santo Amaro das Brotas-SE (SAO), Ribeirão Preto-SP =(SAP) e Itabaiana-SE (ITA). Condições: $T = 25 \pm 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 5,0$; $C_i = 10,0 \text{ mg.L}^{-1}$; $m = 100 \text{ mg}$ de adsorvente.	25
Figura 8 - Adsorção de Cr(III) depois de 72 horas em contato com turfa após tratamento químico com NaOH + HCl $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ do município de Santo Amaro das Brotas-SE (SAO), Ribeirão Preto-SP (SAP) e Itabaiana-SE (ITA). Condições: $T = 25 \pm 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 5,0$; $C_i = 10,0 \text{ mg.L}^{-1}$; $m = 100 \text{ mg}$ de adsorvente.	26

Figura 9 - Adsorção de Cr(III) depois de 72 horas em contato com turfa após tratamento químico com HCl 1,0 mol.L ⁻¹ do município de Santo Amaro das Brotas-SE (SAO), Ribeirão Preto-SP (SAP) e Itabaiana-SE (ITA). Condições: T= 25 ± 0,2 °C; Ci= 10,0 mg.L ⁻¹ ; m= 100 mg de adsorvente.....	27
Figura 10 - Relação entre pH e a quantidade de Cr(III) adsorvido pela turfa SAO <i>in natura</i> . Condições: T= 25 ± 0,2 °C; Ci= 10,0 mg.L ⁻¹ ; m= 100 mg de adsorvente.	30
Figura 11- Isoterma de adsorção linearizada para turfa SAO <i>in natura</i> . Condições: T = 25 ± 0,2 °C; pH = 5,0; m = 100 mg de adsorvente.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de descarte legal para crômio em esgoto e água superficial em vários países.	2
Tabela 2 - Tecnologias convencionais para remoção de metais.	4
Tabela 3 - Resultados da adsorção (q) e análise elementar (média $\pm$ D. P.) e teor de cinzas das amostras de turfas coletadas de três municípios distintos.	19
Tabela 4 - Adsorção de Cr(III) (média $\pm$ D. P.) pela turfa de Santo Amaro das Brotas (SAO) em diferentes valores de pH inicial ($T = 25 \pm 0,2$ °C; $m = 100$ mg de adsorvente).	31
Tabela 5 - Resultados do estudo de adsorção de Cr(III) pela turfa SAO em pH 5,0.	35

LISTA DE ABREVIATURAS

AAS – Espectrômetro de Absorção Atômica

ANOVA – Análise de Variância

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DRX - Difractometria de Raio-X

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

IHSS – Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas

ITA - Turfa coletada no município de Itabaiana – SE

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

SAO - Turfa coletada no município de Santo Amaro das Brotas – SE

SAP – Turfa coletada no município de Ribeirão Preto – SP

SH – Substâncias Húmicas

USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

RESUMO

Nesse trabalho foi investigado as características físico-químicas de três turfas brasileiras usando análise elementar, microscopia eletrônica de varredura (MEV), Difractometria de Raio-X (DRX), e a adsorção de Cr(III) em solução aquosa. A adsorção de Cr(III) por turfa *in natura* coletada no município de Santo Amaro das Brotas - Turfa SAO (Estado de Sergipe) foi muito maior que pela turfa do município de Ribeirão Preto – Turfa SAP (Estado de São Paulo) ou do município sergipano de Itabaiana - Turfa ITA, com capacidades de adsorção (q) de $4,90 \pm 0,01$; $1,70 \pm 0,01$ e $1,40 \pm 0,01$ mg.g⁻¹, respectivamente. Pré-tratamentos químicos com HCl e NaOH + HCl reduziram a adsorção da turfa SAO, que, mesmo assim, exibiu alta eficiência na adsorção de Cr(III) em meio aquoso quando comparada com as demais turfas utilizadas. Esse fato deve está associado ao alto teor de carbono presente nessa turfa. Reciprocamente, o aumento do teor mineral, após tratamento químico, aumentou a adsorção de Cr(III) pelas turfas SAP e ITA. A adsorção mais alta (retenção >95.0%) foi alcançada a pH 5.0 usando a turfa SAO no tempo de equilíbrio de 50 horas. Os dados experimentais para a adsorção de Cr(III) em solução aquosa por turfa SAO foram ajustados pela equação de Langmuir, cuja capacidade de adsorção no equilíbrio, $q_{\max}$, foi de 5,60 mg.g⁻¹, próxima ao valor experimentalmente determinado.

ABSTRACT

In this work, physicochemical characteristics of three Brazilian peats were investigated using elemental analysis, scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffractometry (XRD), and studies of Cr(III) biosorption based on adsorption isotherms. Adsorption of Cr(III) by *in natura* peat from Santo Amaro das Brotas (Sergipe State) was much greater than by peats from either Ribeirão Preto (São Paulo State) or Itabaiana (Sergipe State), with adsorption capacities (q) of 4.90 ± 0.01 , 1.70 ± 0.01 and 1.40 ± 0.01 mg.g⁻¹, respectively. Pre-treatments with HCl and NaOH + HCl reduced adsorption by the Santo Amaro das Brotas peat, showing that adsorption efficiency was associated with the amount of organic matter present. Conversely, increase in the mineral content following pre-treatment increased adsorption of Cr(III) by the Ribeirão Preto and Itabaiana peats. Highest adsorption (retention >95.0 %) was achieved at pH 5.0 using the Santo Amaro das Brotas peat. Experimental data for the adsorption of Cr(III) from aqueous solution onto this peat were fitted to the Langmuir equation, from which an equilibrium adsorption capacity, q_{max} , of 5.60 mg.g⁻¹ was obtained, which was close to the experimentally determined value.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Metal traço: crômio

Efluentes industriais e domésticos freqüentemente contêm quantidades consideráveis de metais traço, os quais põem em perigo a saúde pública se despejados, sem tratamento adequado, em um dado compartimento ambiental. Alguns metais traço provocam efeito nocivo na fisiologia humana e outros sistemas biológicos quando encontrados acima do nível de tolerância. A presença de metais, como o crômio no ambiente, dependendo de seu estado de oxidação, causa muitos efeitos tóxicos, pois pode além de inibir muitos processos celulares em mamíferos, provoca danos ao fígado, rim, dermatite, hemorragia interna e problemas respiratórios (Mohan e Pittman, 2006; Kimbrough et al., 1999). Somente as formas tri e hexavalente do crômio são importantes para a saúde humana.

Vários países têm introduzido regulamentações com o intuito de estabelecer a quantidade de metais descartados especialmente de indústrias ativas. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), o descarte de crômio total, incluindo Cr(III) e Cr(VI), em águas superficiais está regulamentada abaixo de 2 mg.L⁻¹ (Baral et al., 2002).

No Brasil, as condições e padrões de lançamento de efluentes é regulamentado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A

resolução 357 estabelece $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ o valor máximo de cromo total permitido no lançamento de efluentes.

A Tabela 1 mostra uma comparação entre limites de descarte legal para cromo adotado em vários países.

Tabela 1 - Limites de descarte legal para cromo em esgoto e água superficial em vários países.

País	Limite de descarte legal de cromo total (mg.L^{-1})	
	Água superficial	Esgoto
Brasil	0,05	0,05
Dinamarca	2,0 ^a	2,0 ^a
França	1,0	-
Grécia	0,5	0,5
Países baixos	0,05 ^a	2,0 ^a
Polônia	-	0,5
Portugal	2,0	2,0
Suíça	2,0 ^a	2,0 ^a

Fonte: Adaptada de Tahir et al. (2007).

^a Limite referente ao cromo trivalente apenas.

O limite permitido de descarte de Cr(III) varia de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ (em águas de superfície) a $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (em esgotos) dependendo do país (Ibáñez et al., 2004).

Li et al. (2006) citam que o Cr(III) é um elemento traço essencial para normalizar o metabolismo de carboidratos, proteínas, ácidos nucleicos e lipídios, podendo ativar certas enzimas, estabilizar proteínas e ácidos nucleicos. Todavia, Walsh et al. (1994) constataram em testes '*in vitro*' que o Cr(III) é um inibidor potencial de muitos processos celulares em mamíferos. Han et al. (2006) citam que longo tempo de exposição a Cr(III) causa alergia à pele e câncer. O Cr(III) pode também ser oxidado à forma mais mutagênica e carcinogênica, Cr(VI), por MnO_2 no ambiente ou por algumas bactérias no solo sob condições apropriadas.

A remoção de metais como cromo de efluentes domésticos e industriais, águas superficiais e subterrâneas contaminadas é um passo essencial para tornar a água adequada para consumo humano, irrigação e descarte ao ambiente natural. Também é um importante sinal de respeito ao ciclo de vida da água, desde sua captação em um manancial até seu retorno ao meio ambiente, passando por processos de tratamento aos quais garantam qualidade apropriada ao descarte e reuso.

O reuso tem sido possível através do desenvolvimento e fortalecimento de diferentes tecnologias ambientais (Oladoja et al., 2006).

1.2. Técnicas para tratamento de efluentes

O aumento da consciência ambiental e maior rigor da legislação no estabelecimento de limites permitidos para despejos de metais traço em corpos receptores, até de países em desenvolvimento como Brasil, vem abrindo espaço para o aparecimento e o aperfeiçoamento de novas tecnologias para tratamento de efluentes. A técnica de tratamento da água residuária pode variar dependendo do processo de remoção de concentrações traço remanescentes do tratamento principal. Segundo Volesky (2001), as Estações de Tratamento de Efluente (ETE) não estão equipadas para manipular resíduos tóxicos. Os metais traço persistem até nos resíduos e subprodutos das ETE necessitando ser melhor removidos em um passo de pré-tratamento especial. Esse tratamento específico precisa ser barato em virtude do grande volume de águas residuárias. Normalmente esses procedimentos utilizados são caros e em alguns casos produzem dejetos em grande volume (Fine et al., 2005).

Técnicas convencionais usadas para remoção de contaminantes em água incluem filtração, floculação, resina, osmose reversa e precipitação (De La Rosa et al., 2003). A Tabela 2 mostra vantagens e desvantagens de

algumas técnicas convencionais para remoção de metais. Essas técnicas, normalmente, são caras e não biodegradáveis. Embora, a principal desvantagem das técnicas de tratamento convencional é a quantidade de resíduos gerados. Como resultado, o problema aquático é substituído por outro problema, à deposição de sólidos.

Tabela 2 - Tecnologias convencionais para remoção de metais.

TÉCNICA	DESVANTAGENS	VANTAGENS
Precipitação química e filtração	Para altas concentrações Separação difícil Não eficiente Resulta descarte	Simples Barato
Oxidação ou redução química	Requer produtos químicos Sistema biológico (taxa lenta)	Mineralização Mineralização
Tratamento eletroquímico	Caro	Recuperação do metal
Osmose reversa	Pressões altas Membranas caras	Efluente puro (reciclado)
Troca iônica	Sensível a partículas Resinas caras	Efetivo Possível recuperação do metal

Fonte: Adaptada de Volesky (2001).

Por essa razão, dentre os tratamentos convencionais, a resina é considerada como a opção remediável com menos problemas ambientais. Contudo, resinas químicas são caras e o aumento do desenvolvimento de tecnologia eco-amigável tem levado à pesquisa de técnicas alternativas com materiais de baixo custo (Grupta et al.,2000).

Dessa forma, a biossorção vem se consolidando como alternativa viável para tratamento de águas contaminadas por metais (Bailey et al., 1998).

1.3. Biossorção

Biossorção é um processo que utiliza biomassa barata para adsorver metais traço e é útil para remoção de contaminantes de efluentes industriais (Kratochvil et al., 1998). A tendência de aumento de concentração e acumulação de uma substância sobre a superfície de um sólido é característica do processo de adsorção.

Uma técnica atual para recuperação ou remoção de crômio de efluentes é sua adsorção por vários tipos de adsorventes como, por exemplo, carvão, algas, casca de arroz e turfa. Vários testes foram realizados para investigar a possibilidade de aumento da capacidade de remoção de Cr(III) pelo carvão por meio de tratamento químico (Dahbi et al. 2002, Mohan e Pittman Jr. 2006 e Fernandes et al. 2007)

Dahbi et al. (2002) usaram a biomassa carvão de osso como adsorvente para eliminação de Cr(III) de águas poluídas. Esse material foi tratado com ácido nítrico concentrado e com tratamento HCl 1,0 mol.L⁻¹ e NaOH 1,0 mol.L⁻¹. A área superficial do carvão aumentou com a concentração de ácido nítrico, mas sua capacidade de retenção diminuiu drasticamente. Já com o tratamento com HCl e NaOH, segundo os autores, ocorreu um aumento da fração inorgânica do carvão utilizado, o qual melhorou sua capacidade de retenção.

O carvão ativado tem sido um dos materiais adsorventes mais empregados para remoção de metais traço, principalmente por apresentar grande capacidade de adsorção. Possui, contudo, um elevado custo industrial, abrindo espaço para novas pesquisas.

Com baixo custo, a turfa é uma atrativa e barata opção para biossorção/remoção de metais dissolvidos. Mohan e Pittman Jr. (2006) informam que o custo da turfa (~US\$ 0.09 kg⁻¹) é menor que resina de troca iônica (~US\$ 4.40-22.00 kg⁻¹) e carvão ativado (~US\$ 1.10 kg⁻¹).

A turfa é o primeiro estágio na formação do carvão mineral. Sua composição depende de vários fatores como a natureza da vegetação, o clima regional e a acidez da água (McKay, 1996). A turfa adsorve grande quantidade de metais por ser altamente polar. Esse bioissorvente natural possui sítios de adsorção presentes na sua superfície como grupos funcionais de ácidos carboxílicos e hidroxilas fenólicas e alcoólicas, responsáveis pela adsorção de metais em solução aquosa.

A forte atração da turfa pelo íon Cr(III) em solução deve-se, principalmente, ao elevado teor de matéria orgânica, também conhecida como substâncias húmicas (Figura 1). Essas substâncias são importantes como reservatório de carbono orgânico para o ciclo global de carbono. Além disso, são o principal meio de transporte de íons metálicos no ambiente (Gardea-Torresdey et al. 1996; De La. Rosa et al. 2003).

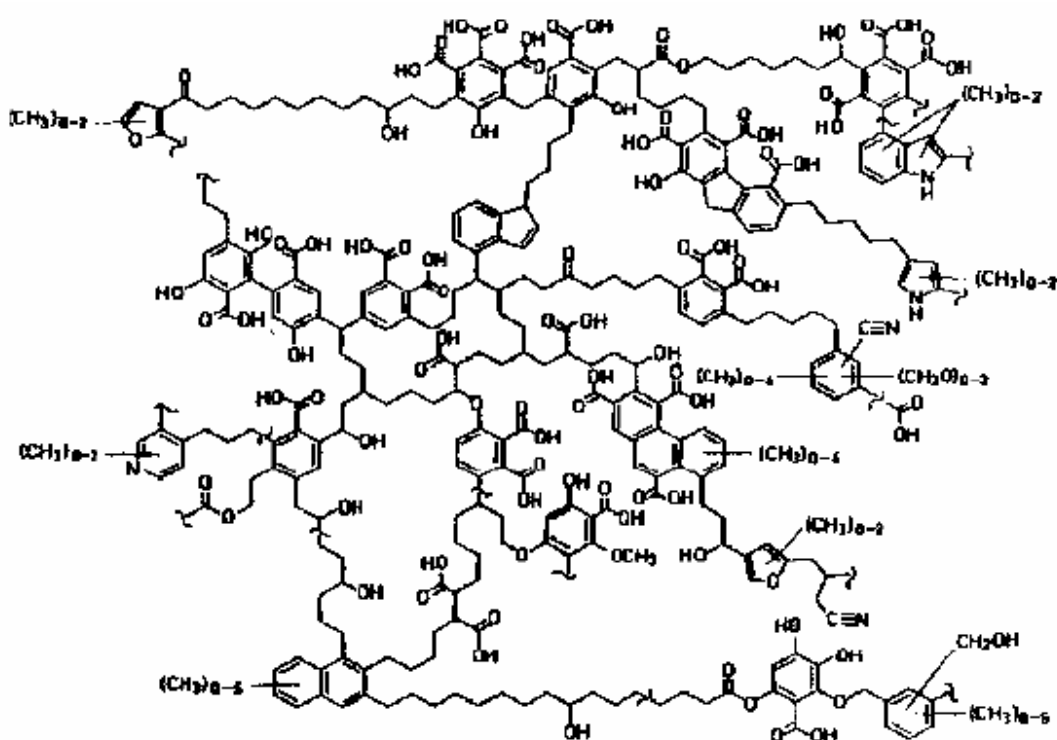
Mohan e Pittman Jr. (2006) informaram que a turfa é uma substância húmica natural podendo ser utilizada para tratamento de água devido sua habilidade em seqüestrar metais. A abundância de grupos funcionais como grupo C-alquil são úteis para complexação e troca iônica durante a fixação de íon metal. Dependendo do tipo da turfa usada, o mecanismo de adsorção de cátions varia grandemente.

Segundo Fernandes et al. (2007) a composição típica da turfa é de 40-60% C e 4-6% H. Essa composição é devida, dentre outros fatores, ao processo de decomposição microbiológica inibida em ambientes anaeróbicos alagados. O ambiente saturado em água inibe a decomposição biológica dos tecidos da planta e promove a retenção do carbono, que normalmente seria liberado na forma de produtos gasosos provenientes da atividade biológica.

Um bioissorvente com elevado teor de carbono, como a turfa, implica possuir grande quantidade de matéria orgânica e, assim, grande

quantidade de grupos funcionais, tendo como consequência, um biossorvente com melhor capacidade de adsorção.

Romão et al. (2007) mostraram por variados métodos que a estrutura e propriedade das turfas do estado de Sergipe e de São Paulo são diferentes devido ao teor de matéria orgânica e inorgânica e a relação complexa da eficiência de adsorção pode ser alterada pela manipulação e alteração de suas propriedades físico-químicas.



(Fonte: Petroni et al., 2000).

Figura 1 - Molécula de substâncias húmicas presente na turfa.

O uso da turfa para remoção de metais de transição em sistema aquoso foi extensamente estudado e recomendado (Malterer et al, 1996 ; Dean et al, 1999 ; Ho et al, 2000; MA et al., 2004). Artigos de revisão têm informado (Brown et al. 2000, Couillard 1992 e 1994, McLellan et al. 1986) sobre a propriedade, disponibilidade e o uso de turfa no controle da poluição de efluentes industriais.

Bailey et al. (1999) também afirmaram que a turfa é um adsorvente relativamente barato e disponível, com capacidade de adsorver vários metais. Como outros adsorventes, a turfa também pode ser modificada para melhorar sua capacidade de adsorção.

Tratamentos com HCl e HCl + NaOH podem ser utilizados para investigar a possibilidade do aumento da adsorção de Cr(III) por turfa através de sua fração mineral. O tratamento somente com ácido pode aumentar a capacidade de troca catiônica e por não ser um agente oxidante, o ácido clorídrico não oxida a fração orgânica da turfa. Sua combinação com hidróxido de sódio poderia cobrir a superfície da fase sólida com uma mistura de óxidos. Ao mesmo tempo, essa combinação dissolveria boa parte da fração orgânica existente no material, uma vez que é o extrator alcalino utilizado na extração de substâncias húmicas de acordo com o procedimento recomendado pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas – IHSS.

Dean et al. (1999) investigaram turfás como bioadsorvente de cromo em solução aquosa. Outros estudos procuraram desenvolver o máximo potencial das turfás como adsorvente de metais. Isso foi alcançado por pré-tratamentos químicos das turfás antes de entrar em contato com o metal em meio aquoso. Os autores observaram que a turfa melhora sua capacidade de adsorção após tratamento químico com ácido fosfórico e/ou ácido sulfúrico (Smith et al., 1977; Krishnamoorthy e Shanmugam, 1986).

Para verificar as melhores condições de adsorção dos íons Zn(II) e Cd(II) em colunas de turfa, Petroni et al. (2000) realizaram tratamento ácido à turfa do Balneário Arroio do Silva, estado de Santa Catarina, Brasil.

Esse tratamento ácido foi realizado de acordo com o procedimento indicado por Gosset et al. (1986), com a finalidade de disponibilizar os sítios de adsorção, além de eliminar os cátions metálicos que poderiam estar fixados a sua estrutura. A acidificação da turfa foi feita com solução de HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, na proporção de 10 mL de solução ácida por grama de turfa, sob agitação, em funil de separação por 2 horas. Seguida da lavagem das amostras com água desionizada até o filtrado atingir pH 5.

A eficiência do tratamento aplicado por Petroni e colaboradores na turfa pôde ser verificada pelo aumento de 92% na capacidade de troca catiônica da turfa tratada em relação à turfa *in natura*.

A turfa também tem a vantagem de ser encontrada em grande quantidade no Brasil. Somente o estado de Sergipe possui reserva mineral de 21 turfeiras, distribuídas em quase todo território estadual, indo de Estância até Neópolis, com reserva de turfas estimada em de 774.000 toneladas em base seca (Santos et al., 2001).

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

- Investigar o desempenho de três diferentes amostras de turfa, *in natura* e tratadas quimicamente, buscando verificar qual apresenta melhor capacidade de adsorção/remoção de cromo (III) em solução aquosa.

2.1. Específicos

- Verificar o efeito do tratamento químico na melhoria da remoção de Cr(III) por três diferentes amostras de turfas.
- Estudar influência do pH na adsorção de Cr(III) por turfa.
- Caracterizar as propriedades físico-químicas das turfas de diferentes regiões, usando Análise Elementar, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Difractometria de Raio-X (DRX).
- Verificar a influência da matéria orgânica na adsorção de Cr(III) por turfa.
- Verificar a adequação de modelos cinéticos de adsorção na descrição dos processos

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Equipamentos

- Medidor de pH Digimed DM 20.
- Balança analítica AdventurerTM, OHAUS.
- Ultra purificador de água, Millipore, Milli-Qplus.
- Filtro, Millex-HV 0,45 µm com unidade de filtro de seringa.
- Centrífuga AvantiTM J-25, Beckman Couter.
- Estufa com circulação forçada de ar, Marconi MA 035.
- Espectrômetro de absorção atômica (AAS), Shimadzu modelo AA-6800 equipado com atomizador por chama.
- Agitador mecânico, CT 712 – R, marca CINTEC.
- Analisador elementar, Carlo Erber 1110.
- Microscópio Eletrônico de Varredura, JSM T330A.
- Difrátometro de Raio –X, Siemens D-5000.

3.2. Reagentes

Todos reagentes foram de grau analítico.

- Ácido clorídrico concentrado, HCl 36% (m/m).
- Ácido nítrico concentrado, HNO₃ 65% (m/m).
- Solução de ácido clorídrico 0,1 e 1,0 mol.L⁻¹.
- Solução de ácido nítrico 10 e 50 %.
- Solução de hidróxido de sódio 0,1 e 1,0 mol.L⁻¹.
- Cr(NO₃)₃.9 H₂O, Sigma, Aldrich, 99,99 % de pureza.
- Solução estoque de 500 mg.L⁻¹ de Cr(III).

3.3. Soluções

3.3.1. Solução estoque de ácido clorídrico 1,0 e 0,10 mol.L⁻¹

Diluiu-se 83,3 mL de ácido clorídrico em água desionizada (Sistema Milli-Q, MILLIPORE) para 1,0 L. Desta solução, obteve-se solução de 0,10 mol.L⁻¹ por diluição. Todas as soluções de HCl foram estocadas em frasco de polietileno.

3.3.2. Solução estoque de ácido nítrico 50% e 10%

Diluiu-se 500 mL do ácido em 400 mL de água desionizada (Sistema Milli-Q, MILLIPORE) e completado a 1,0 L. Solução 10% foi obtida por diluição e estocada em frasco de polietileno.

3.3.3. Solução estoque de hidróxido de sódio 1,0 e 0,10 mol.L⁻¹

Dissolveu-se 40g de hidróxido de sódio (p.a. MERCK AG) em 1,0 L de água desionizada (Sistema Milli-Q, MILLIPORE) e, então, estocada em frasco de polietileno. Desta solução, por diluição, obteve-se solução diluída de 0,10 mol.L⁻¹.

3.3.4. Solução estoque de crômio (III) 500 mg.L⁻¹

Dissolveram-se 3,8476 g de Cr(NO₃)₃.9 H₂O (99,99%) em água desionizada (Sistema Milli-Q, MILLIPORE), transferiu-se para balão volumétrico de 1,0 L e completou-se o volume.

3.4. Coleta e preparo das amostras

As turfas utilizadas neste trabalho foram coletadas em turfeiras a uma profundidade de 10 cm (Figura 2). As turfeiras estão localizadas nos

municípios de Santo Amaro das Brotas (SAO) e Itabaiana (ITA) situadas no estado de Sergipe e turfeira do município de Ribeirão Preto no estado de São Paulo (SAP).

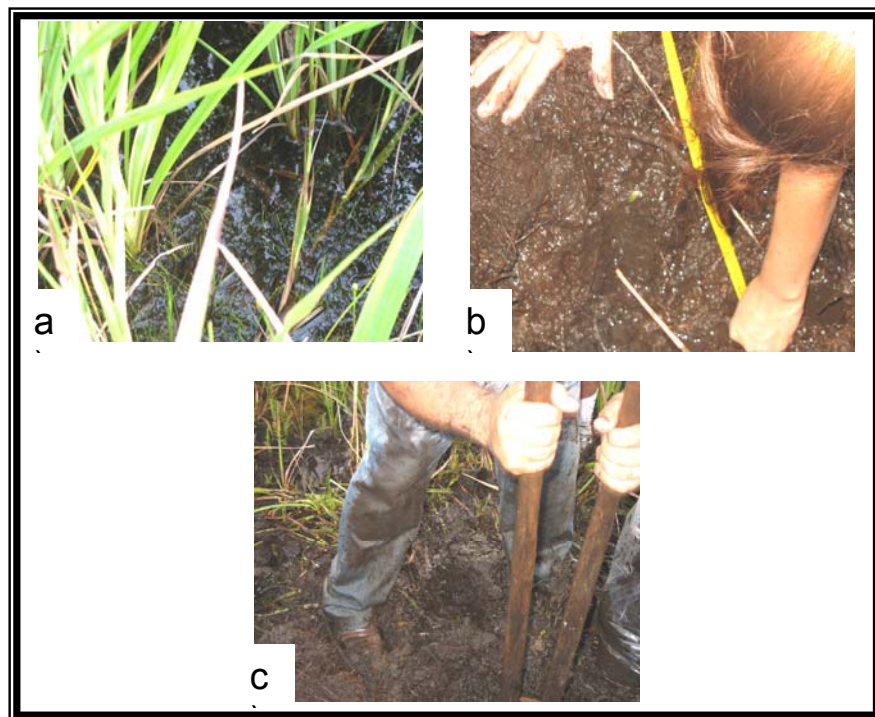


Figura 2 - a) Amostragem: Santo Amaro das Brotas-SE; b) Medição da profundidade; c) Operação de coleta da amostra.

Após secagem ao ar, triturou-se em gral de porcelana e peneirou-se a 9,0 mesh (Figura 3).

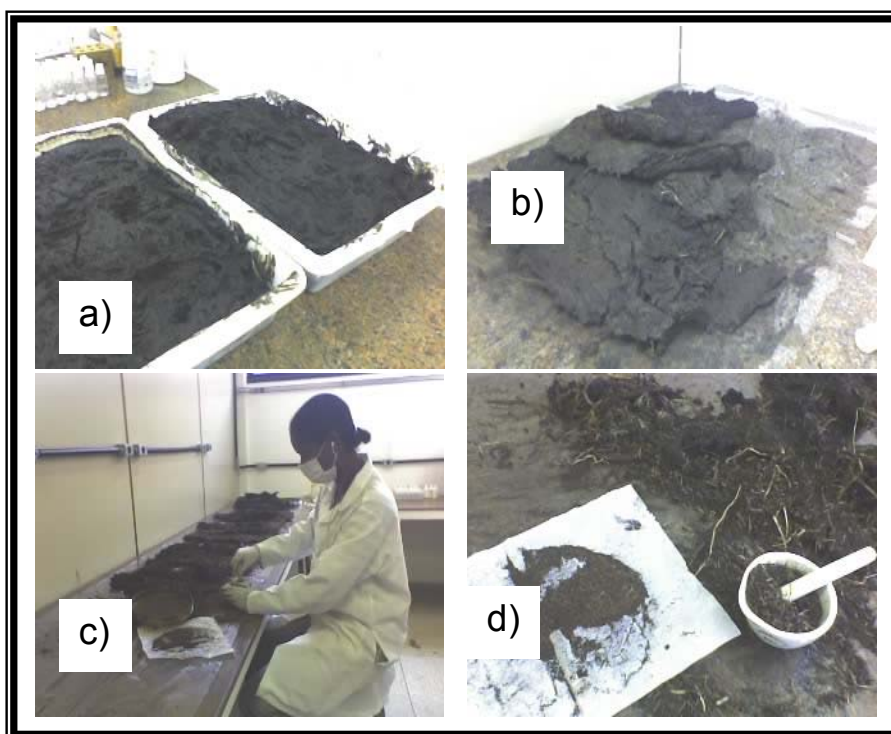


Figura 3 - a) Secagem da turfa ao ar; b) Amostra seca; c) Trituração das amostras; d) Amostra após peneiramento.

3.5. Caracterização das amostras de turfa

3.5.1. Análise Elementar

As medidas de análise elementar foram realizadas em um analisador elementar Carlo Erber 1110. A proporção de cinzas foi obtida depois da calcinação a 750°C por 4 horas.

3.5.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As micrografias foram realizadas no Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista – Campus Araraquara, utilizando um microscópio eletrônico de varredura JSM T330A. As amostras de turfa

foram colocadas em suporte limpos, revestidas com ouro por “sputtering”, utilizando o equipamento Emscope SC 500.

3.5.3. Difratometria de Raios-X (DRX)

Os difratogramas de raios-X das amostras na forma de pó foram, também, realizadas no Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista – Campus Araraquara, utilizando um difratômetro SIEMENS D-5000, operando em modo de varredura com radiação de Cu-K α ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) e filtro de níquel, com voltagem de 40 KV e corrente de 40 mA. A velocidade de varredura utilizada foi de $3^\circ/\text{min}$ em 2θ .

3.6. Tratamento químico

As três diferentes turfas foram submetidas a tratamento químico para verificar influência da capacidade de adsorção de Cr(III) de acordo com o procedimento indicado por Gosset et. al., 1986 e Dahbi et. al., 2002.

3.6.1. Tratamento químico com HCl $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$

Para o primeiro tratamento químico, 100 mL de HCl $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ foi adicionado a 10 g da turfa seca, sob agitação, por 2 horas. Seguida da lavagem das amostras com água desionizada até o filtrado atingir pH 5,0. Depois, secou-se em estufa a 80°C por 2 horas (Gosset et. al., 1986).

3.6.2. Tratamento químico com HCl + NaOH $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$

No segundo tratamento químico, 100 mL de HCl $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ foi adicionado a 10 g da turfa seca, sob agitação, por 1 hora. Após remoção do

ácido em excesso, 100 mL de NaOH $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ foram adicionados e agitados por mais 1 hora. Em seguida, lavou-se a amostra com 2000 mL de água desionizada usando sistema de filtração a vácuo e secagem em estufa a 80°C por 2 horas (Dahbi et. al., 2002).

3.7. Experimentos de adsorção

Os experimentos de adsorção foram realizados utilizando um sistema em batelada agitando a 125 rpm (Figura 4a) em frasco de polietileno de 100 mL.

Para a retirada do sobrenadante, eliminando o material adsorvente, para posterior determinação de crômio, foi utilizado filtro Millex-HV $0,45 \mu\text{m}$ com unidade de filtro de seringa (Figura 4b).

Após a filtração, a solução de crômio foi armazenada em frascos de polietileno com adição de ácido nítrico 50%. A concentração do metal remanescente foi determinada na solução usando um espectrômetro de absorção atômica Shimadzu modelo AA-6800 com atomizador por chama.

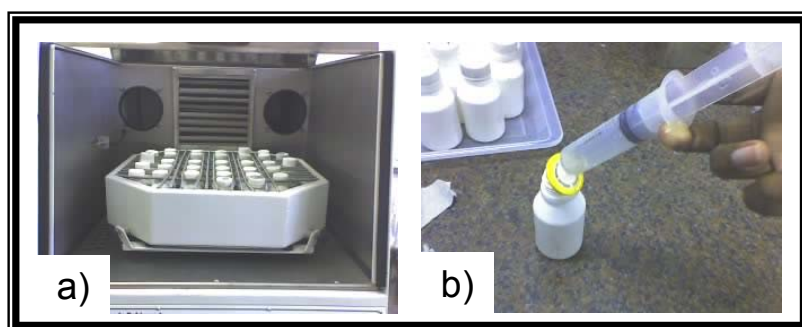


Figura 4 - a) agitador mecânico; b) filtração utilizando unidade de filtro de $0,45 \mu\text{m}$ acoplado a seringa de 20 mL.

3.7.1. Determinação do tempo de equilíbrio

Amostras de 10 mg.L^{-1} da solução de Cr(III) contendo o adsorvente turfa foram colocadas em frascos de polietileno, agitados e retirados em intervalos de tempo variáveis até 72 horas. A adsorção de Cr(III) pela turfa foi determinada pela agitação de 100 mg de turfa com 50 mL de solução Cr(III) 10 mg.L^{-1} (a partir da solução estoque) a 125 rpm, $T = 25 \pm 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ em pH 5,0. Depois da filtração e acidificação, as concentrações de Cr(III) na solução sobrenadante foram analisadas por AAS.

3.7.2. Efeito do pH

Para estudo da influência do pH foram analisados os valores de retenção de Cr(III) em 5 valores de pH – 3, 4, 5, 6 e 7 em meio aquoso. Estes ensaios foram conduzidos em batelada, em frascos contendo 100 mg de turfa com 50 mL da solução de Cr(III) 10 mg.L^{-1} no tempo de equilíbrio predeterminado a $25 \pm 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. O pH das soluções foi ajustado com HCl $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ e NaOH $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. A quantidade de Cr(III) adsorvido em turfa foi calculada pela diferença da concentração inicial e final do metal em solução.

3.7.3. Construção de isoterma de adsorção

Para o experimento de adsorção, 100 mg do adsorvente foi adicionado a 50 mL de solução de Cr(III) de diferentes concentrações ($4,0$ a $60,0 \text{ mg.L}^{-1}$) em pH 5,0. Os recipientes foram agitados a $25 \pm 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante o tempo de equilíbrio anteriormente determinado. Depois, a concentração de Cr(III) no sobrenadante foi determinado por espectrometria de absorção atômica por chama.

3.8. Determinação de Cr(III)

Um espectrômetro de absorção atômica Shimadzu modelo AA-6800 foi usado para determinar a concentração de cromo nas soluções aquosas. A absorbância de todas as soluções foi medida no comprimento de onda de 357,9 nm emitido por lâmpada de cátodo oco para determinar Cr(III). Um medidor de pH modelo Digimed DM 20 digital e uma incubadora CT 712 R, CIENTEC foram utilizados para medir o pH e agitar, respectivamente.

3.9. Teste estatístico

A distribuição média da adsorção de Cr(III) pelas turfas *in natura* e modificadas foi executada usando análise de variância (ANOVA). Todos os dados foram analisados usando teste de comparação múltipla Tukey's ($p < 0,05$) (em anexo).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização das amostras de turfas

A capacidade de adsorção, a análise elementar, o teor de cinzas das amostras de turfa estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da adsorção^a (q) e análise elementar (média $\pm$ D. P.) e teor de cinzas das amostras de turfas coletadas de três municípios distintos.

	Turfa	q (mg.g ⁻¹)	C (%)	H (%)	Cinzas (%)
SAO ^b	<i>in natura</i>	4,90 $\pm$ 0,01	53,1 $\pm$ 0,52	5,97 $\pm$ 0,25	9,40
	HCl	3,30 $\pm$ 0,01	51,0 $\pm$ 4,47	4,88 $\pm$ 0,91	8,90
	NaOH + HCl	3,40 $\pm$ 0,01	45,8 $\pm$ 0,83	5,37 $\pm$ 0,16	12,4
SAP ^c	<i>in natura</i>	1,70 $\pm$ 0,01	6,23 $\pm$ 0,26	0,98 $\pm$ 0,02	80,9
	HCl	1,70 $\pm$ 0,03	6,09 $\pm$ 1,00	0,93 $\pm$ 0,17	86,9
	NaOH + HCl	2,20 $\pm$ 0,01	0,27 $\pm$ 0,02	nd	99,1
ITA ^d	<i>in natura</i>	1,40 $\pm$ 0,01	5,12 $\pm$ 1,46	0,47 $\pm$ 0,15	87,8
	HCl	1,70 $\pm$ 0,01	6,27 $\pm$ 0,43	0,56 $\pm$ 0,06	91,2
	NaOH + HCl	1,90 $\pm$ 0,01	1,96 $\pm$ 0,01	0,12 $\pm$ 0,01	94,7

^aresultado da adsorção após experimento cinético com 100 mg de turfa em contato com solução de Cr(III) 10,0 mg.L⁻¹; ^bSanto Amaro das Brotas-SE (SAO); ^cRibeirão Preto-SP (SAP); ^dItabaiana-SE (ITA).

A turfa de Santo Amaro das Brotas *in natura* (SAO) apresentou alto teor de carbono ($53,1 \pm 0,52\%$) e hidrogênio ($5,97 \pm 0,25\%$) e baixo teor de cinzas (9,40%), em comparação as turfas *in natura* de Ribeirão Preto (SAP) ($6,23 \pm 0,26\%$ de C, $0,980 \pm 0,02\%$ de H e 80,9 % cinzas) e Itabaiana (ITA) ($5,12 \pm 1,46\%$ de C, $0,47 \pm 0,15\%$ de H e 87,8 % cinzas) (Tabela 3).

Fernandes *et al.* (2007) informam que a composição típica da turfa é cerca de 40-60% C e 4-6% H. Os valores da análise elementar da turfa SAO *in natura* indicam que essa turfa possui verdadeira característica de turfa quando comparada sua composição de C e H com a do trabalho supracitado. O mesmo não ocorre com as turfas SAP e ITA.

Para desenvolver o máximo potencial de turfas como adsorvente de metais, Petroni *et al.* (2000) realizaram tratamento ácido à turfa com solução de HCl $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$, tendo aumento de 92% na capacidade de troca catiônica da turfa tratada em relação à turfa *in natura*.

Então, tratamentos químicos foram empregados nas turfas SAO, SAP e ITA para modificar suas propriedades adsorvitivas numa tentativa de aumentar a remoção de íons Cr(III) em solução aquosa.

O ácido clorídrico e hidróxido de sódio são reagentes simples e baratos, o que tornou o custo desses tratamentos químicos nas turfas relativamente baixo.

Os pré-tratamentos com $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ HCl and $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ NaOH + HCl reduziu a quantidade de matéria orgânica na turfa SAO e, em geral, aumentou o teor de cinzas em todas as amostras de turfa (Tabela 3).

As turfas foram tratadas com ácido clorídrico para investigar a possibilidade do aumento da remoção de Cr(III) pelas amostras por sua fração mineral. O ácido clorídrico não é agente oxidante, logo, não reduz a fração orgânica da turfa.

No entanto, a Tabela 3 mostra que combinação de ácido clorídrico e hidróxido de sódio reduziu consideravelmente o teor de carbono na turfa SAO ($53,1 \pm 0,52$ para $45,8 \pm 0,83$ %), na turfa SAP (de $6,23 \pm 0,26$ para $0,27 \pm 0,02$ %) e na turfa ITA (de $5,12 \pm 1,46$ para $1,96 \pm 0,01$ %). Pois esse tratamento químico dissolveu boa parte da fração orgânica existente nas turfas, uma vez que é um extrator alcalino utilizado na extração de substâncias húmicas de acordo com o procedimento recomendado pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS - International Humic Substances Society).

Imagens de microscopia eletrônica de varredura das turfas *in natura* e após tratamentos químicos são mostradas na Figura 5.

A amostra SAO *in natura* mostra características de turfa natural, com vestígios de plantas claramente visível (Figura 5a-i). As microscopias da turfa SAO após tratamentos exibem heterogeneidade granulométrica dos constituintes, além de baixo grau de esfericidade e arredondamento. Não se reconhecem vestígios de vegetação originária da turfa (Figuras 5a- ii e 5a-iii).

As amostras ITA e SAP contêm granulometria de poros similares com presença significativa de uma fase mineral (Figuras 5b e 5c). Os fragmentos focalizados nas microscopias das turfas ITA e SAP após tratamentos químicos apresentam-se com claros indícios de agressão promovida pelo tratamento.

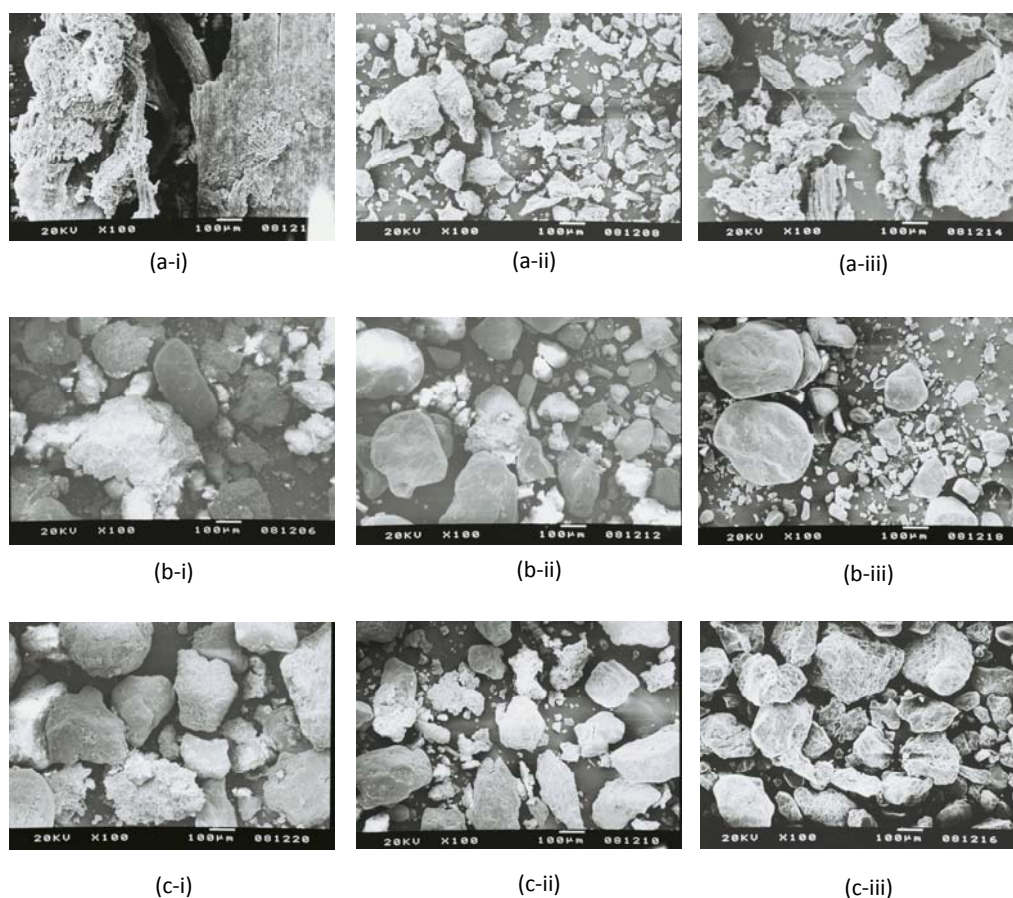


Figura 5 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) (a) Turfa SAO, (b) Turfa SAP e (c) turfa ITA: (i) *in natura*, (ii) Tratada com HCl e (iii) tratada com HCl + NaOH.

Exame detalhado da mineralogia das amostras de turfa usando Difractometria de Raio-X (DRX) é mostrado na Figura 6. É possível perceber na amostra SAO *in natura* (Figura 6a-i) a presença de um halo entre $2\theta = 18^\circ$ e 32° e a ausência de picos finos, o que revela uma estrutura predominantemente não cristalina (amorfa).

Depois do tratamento com HCl (Figura 6a-ii), ocorre o surgimento de picos, os quais evidenciam a presença de partículas cristalinas. Para

amostra tratada com HCl + NaOH, o difratograma não mostra diferença relativa àquela obtida para a amostra *in natura* (Figura 6a-iii).

As análises de DRX das amostras SAP e ITA (Figuras 6b e 6c) mostram picos finos no difratograma que comparados com os padrões de DRX armazenados no banco de dados cristalográficos para compostos cristalinos, the Joint Committee for Powder Diffraction Files (JCPDF), foi possível concluir que os mesmos correspondem à presença do mineral quartzo.

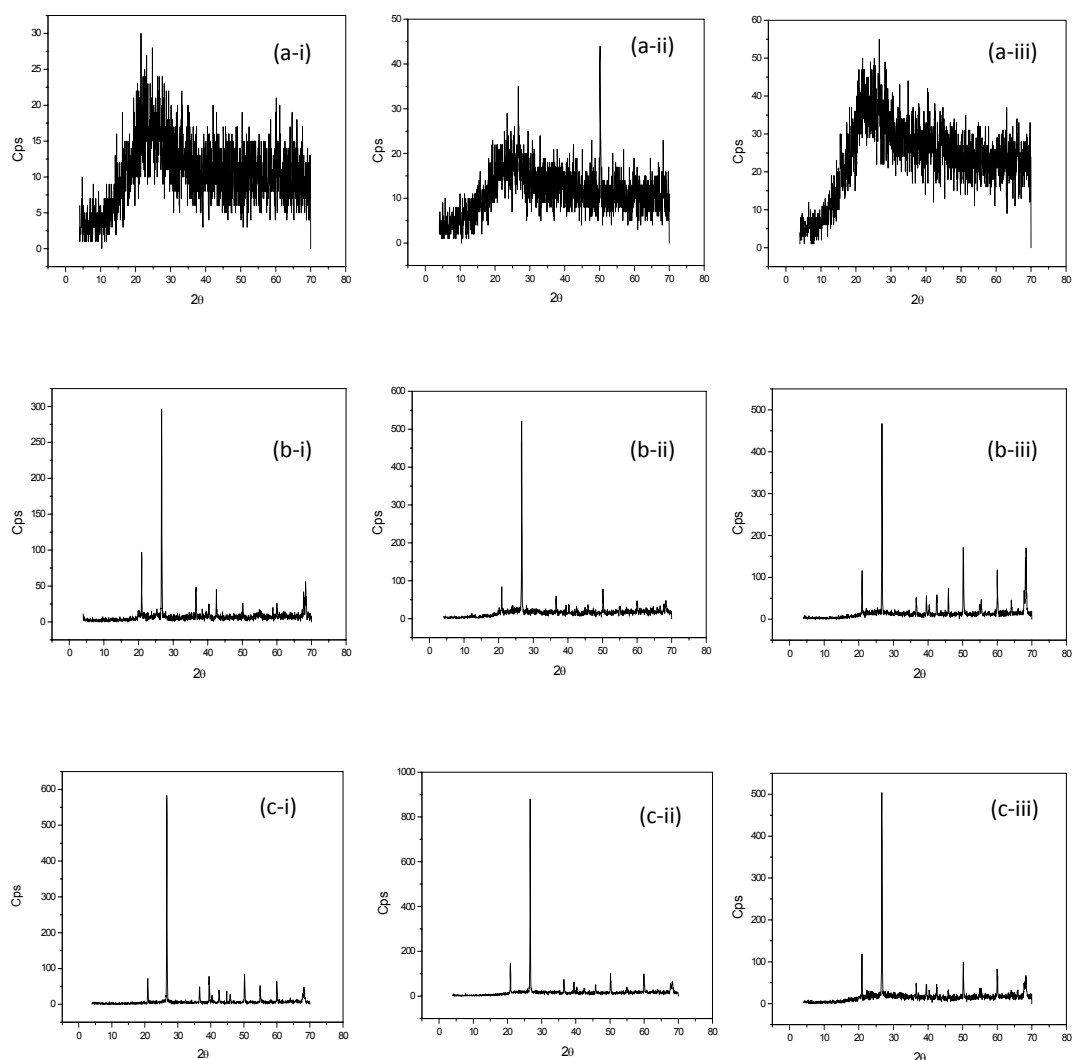


Figura 6 - Difratometria de Raio-X (DRX) das amostras de turfa: (a) turfa SAO (b) turfa SAP e (c) turfa ITA- (i) *in natura*, (ii) tratamento com HCl e (iii) tratamento com HCl + NaOH.

Os resultados de DRX corroboram com aqueles obtidos da análise elementar, demonstrando que as turfas SAO, SAP e ITA são muito diferentes devido à diferença entre o teor de matéria orgânica e inorgânica. Como também, reforçam a verdadeira característica de turfa da amostra SAO devido difratograma de matéria amorfa.

4.1. Determinação do tempo de equilíbrio

Para determinação do tempo mínimo necessário para completa adsorção, foi realizado um estudo onde soluções de Cr(III) 10,0 mg.L⁻¹ foram colocadas em contato com o material adsorvente em tempos variados até 72 horas, em pH 5,0.

Os números de íons Cr(III) adsorvidos pela turfa foram calculados pela diferença entre a concentração inicial e final da solução usando a equação:

$$q = \frac{(c_0 - c)v}{m} \quad (1)$$

Nessa expressão, q é a capacidade de adsorção, em miligramas do metal por gramas de turfa seca, c_0 é a concentração de íon metal livre em mg.L⁻¹, c é a concentração final de íon metal em mg.L⁻¹, v o volume de líquido em litros, e m é a massa de adsorvente (*in natura* e após tratamento) em gramas (Hardin et. al, 2005).

As Figuras 7, 8 e 9 mostram a capacidade de adsorção (q) de Cr(III) por três diferentes turfas *in natura*, após tratamento com NaOH + HCl e após tratamento com HCl, respectivamente.

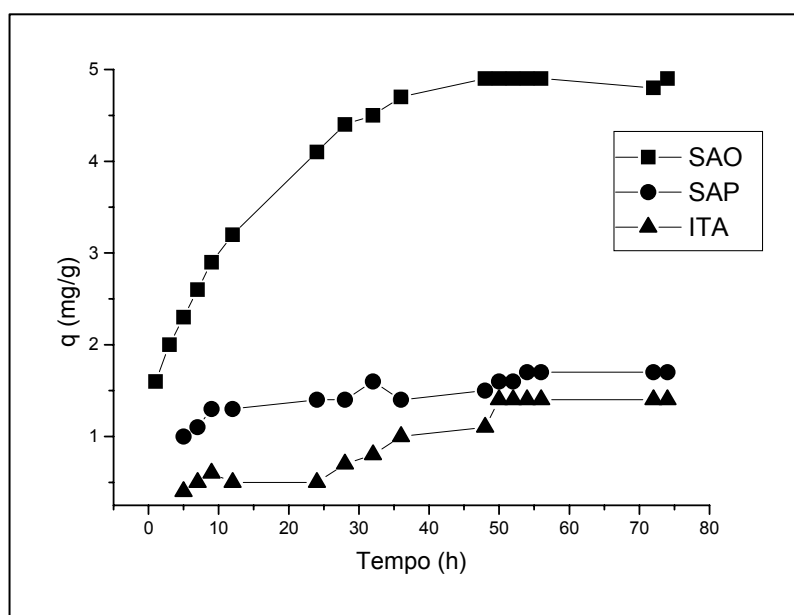


Figura 7 - Adsorção de Cr(III) após 72 horas em contato com turfa *in natura* do município de Santo Amaro das Brotas-SE (SAO), Ribeirão Preto-SP (SAP) e Itabaiana-SE (ITA). Condições: $T = 25 \pm 0,2$ °C; $pH = 5,0$; $C_i = 10,0$ mg.L⁻¹; $m = 100$ mg de adsorvente.

Observa-se na Figura 7 que a adsorção da turfa de Santo Amaro das Brotas (SAO) é consideravelmente maior que a de Ribeirão Preto (SAP) e Itabaiana (ITA). A capacidade de adsorção dessas turfas foi $4,90 \pm 0,01$; $1,70 \pm 0,01$ e $1,40 \pm 0,01$ mg.g⁻¹, respectivamente, no tempo de equilíbrio de 50h.

Os resultados do teste estatístico (em anexo) ($p < 0,05$), utilizando somente os dados da capacidade de adsorção (q) das amostras, mostram que não existe diferença significativa para os resultados encontrados entre as turfas *in natura* ITA e SAP ($F = 0,818$; $P = 0,417$). No entanto, entre as turfas *in natura* ITA e SAO ($F = 16,794$; $P = 0,0149$) e SAP e SAO ($F = 13,533$; $P = 0,0212$) existe diferença significativa ($F_{\text{crítico}} = 2,534$).

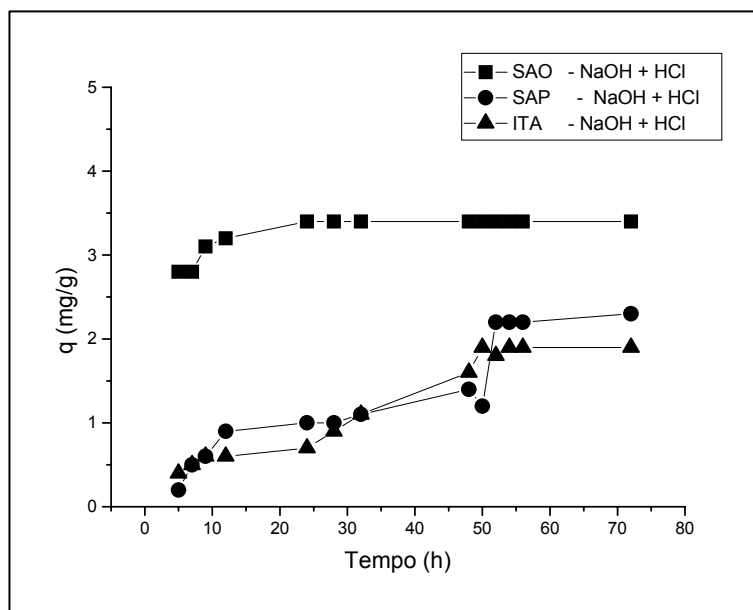


Figura 8 - Adsorção de Cr(III) depois de 72 horas em contato com turfa após tratamento químico com NaOH + HCl 1,0 mol.L⁻¹ do município de Santo Amaro das Brotas-SE (SAO), Ribeirão Preto-SP (SAP) e Itabaiana-SE (ITA). Condições: T= 25 ± 0,2 °C; pH= 5,0; Ci= 10,0 mg.L⁻¹; m= 100 mg de adsorvente.

No caso da turfa SAO, o pré-tratamento com HCl + NaOH reduziu a adsorção de Cr(III) de $4,90 \pm 0,01$ para $3,40 \pm 0,01$ mg.g⁻¹ (Figura 8). A redução na adsorção foi acompanhada pelo aumento do teor de cinzas (de 9,40 para 12,4 %) e o decréscimo do teor de carbono (de $53,1 \pm 0,52$ para $45,8 \pm 0,83$ %). Indicando que a eficiência de adsorção dessa amostra está associada a quantidade de matéria orgânica presente (Tabela 3). Foi verificado uma diferença significativa para os resultados encontrados entre turfa SAO *in natura* e a turfa SAO após tratamento com HCl + NaOH (F= 14464.29; P=0.000). O tratamento HCl, porém, foi menos eficiente que o tratamento HCl + NaOH, sendo, esses tratamentos químicos, diferentes significativamente entre si (F= 73.14; P=0.00103).

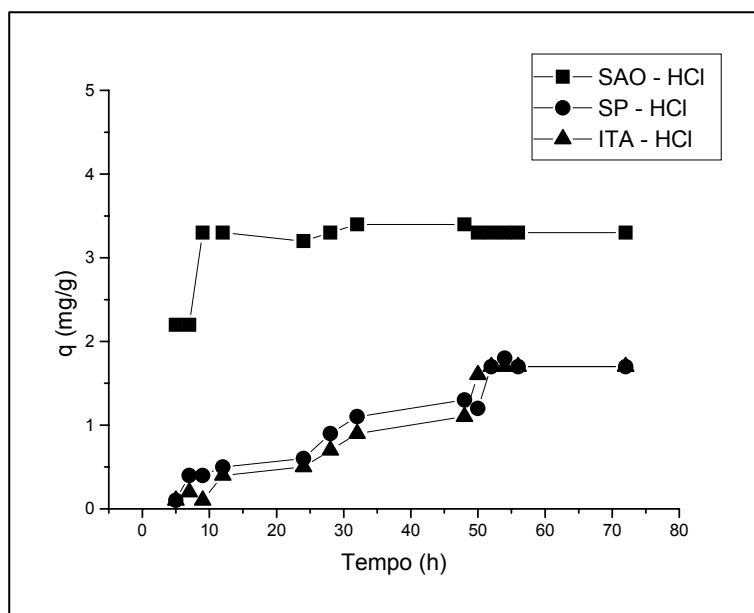


Figura 9 - Adsorção de Cr(III) depois de 72 horas em contato com turfa após tratamento químico com HCl 1,0 mol.L⁻¹ do município de Santo Amaro das Brotas-SE (SAO), Ribeirão Preto-SP (SAP) e Itabaiana-SE (ITA). Condições: T= 25 ± 0,2 °C; pH= 5,0; Ci= 10,0 mg.L⁻¹; m= 100 mg de adsorvente.

Os tratamentos químicos aumentaram a adsorção da turfa SAP e ITA (Figura 8 e 9). Isso indica alterações na fração inorgânica sendo constatado através do aumento do teor de cinzas, as quais justificariam a melhoria da remoção. Todavia, a turfa SAO apresenta maiores valores de q (Tabela 3) independente do tratamento químico.

Recente estudo foi realizado, com essas mesmas amostras de turfas, (Romão et al., 2007), por variados métodos de análises quantitativas e qualitativas para identificação de qual fração, orgânica ou inorgânica, seria a responsável pela adsorção de metais. A análise elementar e a relação das absorbâncias E_4/E_6 indicaram para a turfa SAO alta humificação e

elevada quantidade de matéria orgânica. O espectro de RMN- C^{13} indicou abundância de grupos C-alquil na turfa SAO do que na turfa ITA e SAP. Os resultados da análise de infravermelho das amostras ITA e SAP mostraram-se similares umas as outras, com picos predominantes em 1086 cm^{-1} , indicando grupos Si-O presentes, sendo diferentes quando comparados a turfa SAO que continha dois picos mais predominantes em 2920 cm^{-1} e 2850 cm^{-1} . Esses picos foram justificados pelo estiramento C-H e a C-alquil. A análise térmica da amostra SAO mostrou alto efeito exotérmico entre $300\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Isso indicou também, grande quantidade de matéria orgânica da turfa SAO. Os autores desse trabalho concluíram que a adsorção pode ser explicada pela eficiência relativa da adsorção das frações mineral e orgânica presentes nessas amostras de turfa (Romão et al., 2007).

Em relação ao tempo de contato, foi necessário 50h para o sistema alcançar o equilíbrio de adsorção. Inicialmente, um número de sítios vacantes superficiais estava disponível para adsorção. Depois, os sítios superficiais remanescentes disponíveis na superfície da turfa saturaram com conseguinte estabilização da capacidade de adsorção no tempo de equilíbrio (Bishnoi et al., 2007 e Kumar et al., 2008).

Além da migração do íon Cr(III) da solução aquosa para a superfície externa da turfa, esse íon metal pode migrar para o interior do material adsorvente. Segundo Garg et al., (2004), o processo de adsorção é seguido por difusão através da solução contendo o adsorvato até a superfície externa do adsorvente, para que se inicie a partir deste momento a difusão interna, sugerindo que esta etapa requer um consumo de tempo relativamente elevado para se completar. Então, o mecanismo de difusão intrapartícula deve ter contribuído para o longo período de tempo de 50 h para a turfa alcançar o equilíbrio de adsorção de íon Cr(III) em meio aquoso.

A turfa SAO tratada quimicamente não apresentou melhora na capacidade adsorptiva, contudo sua máxima de adsorção não é muito inferior aos materiais adsorventes utilizados por Deng e Bai (2004), Gode e Pehlivan (2005).

Deng e Bai (2004) prepararam e usaram fibra de poliacrilonitrila como adsorvente em uma série de experimentos de adsorção em batelada para remoção de Cr(III). A remoção desse metal alcançou maior eficiência em pH 5,0 obtendo capacidade máxima de adsorção de $5,0 \text{ mg.g}^{-1}$. E Gode e Pehlivan (2005) investigaram adsorção de Cr(III) por carvão. A capacidade de adsorção foi de 5,4 mg de Cr(III) por grama de carvão.

Em outros trabalhos citados por Mohan e Pittman Jr. (2006) são reportados valores menores de adsorção de Cr(III) por palha de arroz após tratamento álcali, descartes de processamento de vinho e casca de arroz cru com capacidade de adsorção, respectivamente, de $3,9 \text{ mg.g}^{-1}$ (pH 3,6-3,9); $10,5 \text{ mg.g}^{-1}$ (pH 4,0) e $0,1 \text{ mg.g}^{-1}$ (pH 5,0).

Os valores de capacidade de adsorção acima relatados mostram que é plenamente viável a utilização da turfa SAO como material adsorvente de Cr(III).

Devido sua maior capacidade de adsorção em relação as outras turfás estudadas e vantagem de ser encontrada em grande quantidade no estado de Sergipe, prosseguiu-se com os experimentos de adsorção (efeito do pH e isoterma de adsorção) no tempo de equilíbrio de 50h somente com a turfa de Santo Amaro das Brotas – SE (SAO).

4.2. O efeito do pH

A capacidade de adsorção de íons metálicos por turfa está diretamente relacionada com o pH da solução (Gundogan, et al., 2004; Cochrane, et al., 2006). A capacidade de adsorção da turfa é

freqüentemente descrita por processos que inclui troca-iônica, adsorção superficial, complexação. Acredita-se que a troca-iônica é o mecanismo prevalescente já que no processo de humificação da turfa é formada matéria orgânica do tipo substâncias húmicas, a qual é rica em grupamentos de ácidos carboxílicos e fenólicos na estrutura que interagem com metais liberando prótons (Brown et al., 2000).

Nesse trabalho, a influência do pH sobre a adsorção de Cr(III) em solução aquosa por turfa foi investigada usando soluções de pH inicial de 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 e 7,0; ajustando o pH da solução com soluções 0,10 mol.L⁻¹ HCl ou 0,10 mol.L⁻¹ NaOH. As soluções contendo Cr(III) 10,0 mg.L⁻¹ (a 25 ± 0,2°C) foram agitadas pelo tempo de equilíbrio de 50 h. A Figura 10 mostra a relação entre a quantidade de Cr(III) adsorvida e o pH inicial da solução aquosa contendo o íon metal, no tempo de equilíbrio.

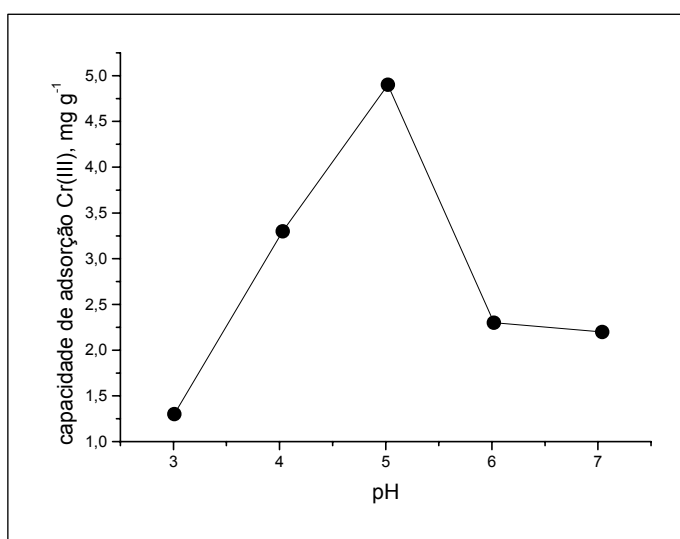


Figura 10 - Relação entre pH e a quantidade de Cr(III) adsorvido pela turfa SAO *in natura*. Condições: T= 25 ± 0,2 °C; C_i= 10,0 mg.L⁻¹; m= 100 mg de adsorvente.

Soluções que tiveram pH ajustados a partir de 4,03 apresentaram pH de equilíbrio menor que o pH inicial (Tabela 4). Nesses valores de pH provavelmente, houve promoção de uma reação de troca iônica entre o metal e íons H^+ da turfa que, transferidos à solução, promoveram diminuição de seu pH de equilíbrio. A solução de pH inicial 3.01 apresentou pH de equilíbrio maior que o pH inicial. É possível que íons H^+ foram removidos da solução, juntamente com o metal (Sharma et al., 1993), conduzindo a um aumento do pH de equilíbrio da solução.

Tabela 4 - Adsorção de Cr(III) (média $\pm$ D. P.) pela turfa de Santo Amaro das Brotas (SAO) em diferentes valores de pH inicial ($T = 25 \pm 0,2$ °C; $m = 100$ mg de adsorvente).

pH _i	pH _e ^a	C _e (mg.L ⁻¹) ^b	q (mg.g ⁻¹)	Retenção ^c (%)
3.01	3,10	5,59 $\pm$ 0,02	1,33 $\pm$ 0,03	31,6
4.03	3,82	1,46 $\pm$ 0,02	3,29 $\pm$ 0,01	82,1
5.02	3,98	0,28 $\pm$ 0,01	4,89 $\pm$ 0,02	96,4
6.02	3,37	3,56 $\pm$ 0,07	2,31 $\pm$ 0,01	56,3
7.04	3,32	3,59 $\pm$ 0,03	2,23 $\pm$ 0,03	54,0

^apH de equilíbrio.

^b concentração após tempo de equilíbrio de 50 horas usando 100 mg de turfa em contato com 50 mL de 10,0 mg.L⁻¹ (concentração inicial) da solução de Cr(III).

^cdiferença entre a concentração de Cr(III) na solução aquosa inicial e após o tempo de equilíbrio.

O pH do meio também afetará a adsorção na medida em que o pH controla a especiação do elemento Cr. A presença de grupos superficiais ácidos na turfa aumenta a adsorção de íons Cr(III) por conta das interações eletrostáticas atrativas entre a carga superficial negativa na turfa e os íons catiônicos do Cr(III) na solução. Reduções das interações atrativas eletrostáticas resultam na diminuição da adsorção de Cr(III) em valores de pH >5,0 e o Cr(III) tendendo a precipitar como Cr(OH)₃ (Mohan e Pittman Jr. 2006; Gode et al., 2007).

A turfa adsorveu $4,89 \pm 0,02 \text{ mg.g}^{-1}$ Cr(III) em pH 5,02, com retenção maior que 95,0 % (Tabela 4). Pode-se observar que o pH da solução inicial menor que 5,0 reduziu a quantidade de Cr(III) adsorvido em turfa ($1,33 \pm 0,03 \text{ mg.g}^{-1}$ a pH 3,0 e $3,29 \pm 0,01 \text{ mg.g}^{-1}$ a pH 4,0).

Em pH abaixo de 3, a maioria dos metais é fracamente adsorvida pela turfa. Em pH acima de 9, a turfa não é estável pela solubilização parcial das substâncias húmicas que podem ser observadas pela coloração amarelo-escurecida na solução além, de formação de hidróxidos metálicos.

Ma et al. (2004) mostraram que enquanto em pH 2,0 e pH 3,0 o crômio está predominantemente presente na forma de íon trivalente, espécies neutras tendem a ser formadas a medida que aumenta o valor do pH da solução.

Quando o pH está acima de 5,0, a porcentagem de adsorção decresce. Porque a reação dos íons crômio com íons OH^- leva a precipitação do metal com decréscimo dos íons metálicos livres disponíveis na solução. Em valores de pH abaixo de 5,0 pode existir a competição entre íons H^+ e Cr(III) e, desse modo, decrescer a capacidade de adsorção da turfa.

A diminuição da adsorção de crômio a partir do pH 5,0 verificado nesse trabalho pode ser o resultado dessa alteração da especiação em favor de espécies neutras.

4.3. Isoterma de adsorção

A isoterma de adsorção correlaciona a capacidade de adsorção de um adsorvente (q_e) em função da concentração de equilíbrio do adsorvato na solução (C_e). O clássico modelo de Langmuir é freqüentemente usado para descrever a relação:

$$q_e = \frac{q_{\max} b c_e}{1 + b c_e} \quad (2)$$

As constantes são características da equação de Langmuir e podem ser determinadas através da linearização da equação acima, adquirindo a seguinte forma:

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{c_e}{q_{\max}} + \frac{1}{q_{\max} b} \quad (3)$$

Onde $q_{\max}$ é a capacidade máxima de adsorção (mg.g^{-1}), q_e a quantidade de íon metal adsorvido no equilíbrio (mg.g^{-1}), C_e a concentração do soluto no equilíbrio (mg.L^{-1}) e b é a constante de equilíbrio que mostra a energia de adsorção, a qual reflete quantitativamente a afinidade entre o adsorvente e o adsorvato (Cochrane et al., 2006).

Os valores de $q_{\max}$ e b foram determinados pelo gráfico C_e/q_e versus C_e . A correlação dos dados experimentais segundo a equação de Langmuir pode ser verificada pelo valor de R^2 no gráfico da isoterma de Langmuir linearizada presente na Figura 11. A capacidade máxima de adsorção no equilíbrio, q_m , para a turfa SAO foi de $5,60 \text{ mg.g}^{-1}$ sob as condições estudadas.

O coeficiente de correlação, $R^2 = 0.97989$ foi obtida pela equação linearizada de Langmuir:

$$C_e/q = 0.18 C_e + 0.25 \quad (n=10) \quad (4)$$

Bishnoi et al. (2006) investigaram o uso de alga *spirogyra spp* como biossorvente na remoção de Cr(III) em solução aquosa. Os autores

relataram que a constante da isoterma de Langmuir teve alto valor do coeficiente de correlação (R^2). Esse valor ($R^2 > 0,90$) indica que os dados de equilíbrio da alga estão de acordo com modelo da isoterma de Langmuir.

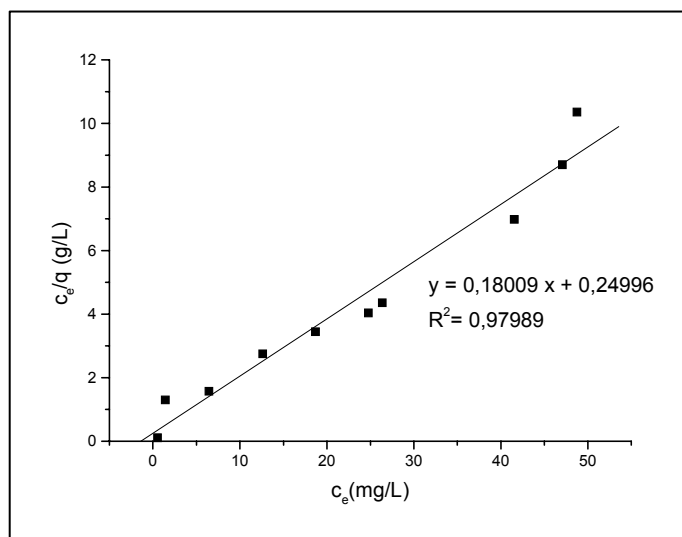


Figura 11- Isoterma de adsorção linearizada para turfa SAO *in natura*. Condições: $T = 25 \pm 0,2$ °C; pH = 5,0; m = 100 mg de adsorvente.

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos experimentalmente do estudo de equilíbrio de adsorção do crômio pela turfa de Santo Amaro das Brotas (SAO). Pode-se observar o ajuste entre os dados experimentais e os calculados pela equação de Langmuir.

Pode ser concluído, então, que os dados de equilíbrio de adsorção para a turfa estudada, no presente trabalho, concordam com o modelo de Langmuir, pela concordância entre o valor de q obtido usando a equação de Langmuir ($5,60 \text{ mg.g}^{-1}$), e o obtido experimentalmente ($4,90 \text{ mg.g}^{-1}$).

O modelo de Freundlich também foi testado, porém este modelo não apresentou correlação linear, por isto optou-se pelo modelo de Langmuir como aquele que mais se aproximou dos resultados experimentais.

Tabela 5 - Resultados do estudo de adsorção de Cr(III) pela turfa SAO em pH 5,0.

C_i (mg.L ⁻¹)	massa (g)	C_e (mg.L ⁻¹)	q_e exp (mg.g ⁻¹)	C_e / q (g L ⁻¹)	q_e Langmuir (mg.g ⁻¹)	q_{max} (mg.g ⁻¹)
3,80	0,11	1,40	1,10	1,30	2,80	5,60
10,4	0,10	0,50	4,90	0,10	1,50	
15,3	0,11	6,50	4,10	1,60	4,60	
21,8	0,10	12,6	4,60	2,80	5,00	
30,2	0,11	18,7	5,40	3,40	5,20	
40,0	0,11	26,4	6,10	4,40	5,30	
40,1	0,13	24,8	6,10	4,00	5,30	
55,1	0,11	41,5	6,00	7,00	5,40	
58,2	0,10	47,1	5,40	8,70	5,40	

Nota: temperatura de realização do ensaio = 25 ± 0,2 °C.

Apesar do modelo de Freundlich considerar a não uniformidade das superfícies reais e descrever bem a adsorção iônica dentro de certos limites de concentração, este modelo apresenta dificuldades em considerar a quantidade de íons presentes em materiais como o solo em concentrações iônicas mais elevadas, enquanto que o modelo de Langmuir descreve bem a adsorção iônica com recobrimento em monocamada e afinidade iônica independente da quantidade de material adsorvido, talvez esta seja a razão para sua maior utilização, podemos dizer que sua validade de uso prende-se mais ao fato de constituir uma boa equação empírica do que atender as condições físicas pré-determinadas.

5. CONCLUSÕES

Análise elementar, DRX e MEV mostraram que a turfa SAO possui verdadeiras características de turfa, possuindo elevado teor de matéria orgânica.

Os tratamentos químicos mostraram-se ineficientes na turfa SAO diminuindo a capacidade de adsorção de $4,90 \text{ mg.g}^{-1}$ para $3,30 \text{ mg.g}^{-1}$. Todavia, esses tratamentos químicos aumentaram a adsorção da turfa SAP de $1,70 \text{ mg.g}^{-1}$ para $2,20 \text{ mg.g}^{-1}$ e de $1,40 \text{ mg.g}^{-1}$ para $1,90 \text{ mg.g}^{-1}$ para a turfa ITA.

A turfa de Ribeirão Preto-SP (SAP) mostrou-se mais eficiente que a turfa coletada do município de Itabaiana-SE (ITA). A capacidade de adsorção foi respectivamente $1,70$ e $1,40 \text{ mg.g}^{-1}$.

A turfa SAO apresentou maiores valores de capacidade de adsorção independente do tratamento químico e essa eficiência de adsorção/remoção deve está associada ao maior teor de matéria orgânica presente nessa amostra.

Devido sua disponibilidade no estado de Sergipe e alta capacidade de adsorção em relação as outras turfás avaliadas, a turfa SAO foi submetida a experimentos de adsorção.

O valor de q_{max} pôde fornecer a capacidade teórica de saturação da monocamada q_e . A capacidade teórica de adsorção pelo modelo de Langmuir da turfa de Santo Amaro das Brotas *in natura* em pH 5,0 foi de $5,60 \text{ mg.g}^{-1}$ para o Cr(III). A capacidade de adsorção experimental foi de $4,90 \text{ mg.g}^{-1}$ com a relação 0,1 m/m metal-adsorvente. O valor do coeficiente

de correlação ($R^2 > 0,90$) indicou que os dados de equilíbrio da turfa SAO estão de acordo com modelo da isoterma de Langmuir.

Os resultados mostraram que a turfa de Santo Amaro das Brotas (SAO) removeu aproximadamente 96,4% de Cr(III) em solução aquosa a pH 5,0. Esse dado experimental mostra que a amostra de turfa de Santo Amaro das Brotas é um biossorvente viável para tratamento de efluentes que contém íon Cr(III) em solução aquosa.

6. PROPOSTAS FUTURAS

- Utilizar humina, fração extraída da turfa com NaOH, para avaliar seu desempenho na adsorção de Cr(III).
- Construir isoterma linearizada do modelo de Langmuir da humina a ser extraída.
- Preparar carvão ativado da turfa de Santo Amaro das Brotas a fim de verificar melhoria da sua capacidade de adsorção.
- Testar a turfa de Santo Amaro das Brotas como biossorvente para remoção de Cr(III) em curtume da região sergipana.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAILEY, S.E., OLIN, T.J., BRICKA, R.M., ADRIAN, D.D. A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. **Water Research**. v. 33, p. 2469–2479, 1998.

BARAL, A., ENGELKEN, R.D. Chromium-based regulation and greening in metal finishing industries in the USA **Environ. Science Pollution**, v. 5, p. 121–133, 2002.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO No 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005**: estabelece a classificação das águas e os níveis de qualidade exigidos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> acesso em: 18 de julho de 2007.

BROWN, P. A., GILL, S. A., ALLEN, S. J. Metal removal from wastewater using peat. **Water Research**. v. 34, p. 3907-3916, 2000.

BISHNOI, N. R., KUMAR, R., KUMAR, S., RANI, S. Biosorption of Cr(III) from aqueous solution using algal biomass *spirogyra* spp., **J. Hazard. Mater**. v. 145 p. 142-147, 2007.

COCHRANE, E. L.; LU, S.; GIBB, S. W.; VILLAESCUSA, I. A comparison of low-cost biosorbent and commercial sobent for removal of copper from aqueous media. **J. Hazard. Mater**. v. b 137, p. 202, 2006.

COUILLARD, D. Appropriate wastewater management technologies using peat. **Journal Environmental System**. v. 21, p. 1-19, 1992.

COUILLARD, D. The use of peat in wastewater treatment. **Water Research**. v. 28, p. 1261-1274, 1994.

DAHBI, S., AZZI, M., SAIB, N., GUARDIA, M. de la, FAURE, R., DURAND, R. removal of trivalent chromium from tannery waste waters using boné charcoal. **Anal. Bioanal. Chem.**, v. 374, p. 540-546, 2002.

DEAN, S. A., TOBIN, J. M. Uptake of chromium cations and anions by milled peat. **Resources, Conservation and recycling**, v. 27, p.151-156, 1999.

DE LA ROSA, G., GARDEA-TORRESDEY, J. L., PERALTA-VIDEA, J.R., HERRERA, I., CONTRERAS, C. Use of sílica-immobilized humin for heavy metal removal from aqueous solution under flow conditions. **Bioresource Technology**, v. 90, p. 11, 2003.

DENG, S., BAI, R. Removal of trivalent and hexavalent chromium with aminated polyacrylonitrile fibers: performance and mechanisms. **Water Research**, v. 38, 2424-2432, 2004.

FERNANDES, A.N., ALMEIDA, C.A.P. ; MENEZES, C.T.B; DEBACHER, N.A. ; SIERRA, M.M.D. Removal of methylene blue from aqueous solution by peat, . **J. Hazard. Mater**. v.144, p. 412–419, 2007.

FINE, P., SCAGNOSSI, A., CHEN, Y., MINGELGRIN, U. Practical and mechanistic aspects of the removal of cadmium from aqueous systems using peat. **Environmental Pollution**, v. 138, p. 358, 2005.

GARDEA-TORRESDEY, J. L.; TANG, L.; SALVADOR, J. M. Copper adsorption by sphagnum peat moss and its different humic fractions. **J. Hazard. Mater.** v. 48, p. 191-206, 1996.

GARG, V. K.; AMITA, M.; KUMAR, R.; GRUPTA, R. Basic dye (methylene blue) removal from simulated wastewater by adsorption using Indian Rosewood sawdust: a timber industry waste. **Dyes and Pigments**, v. 63, p. 243-250, 2004.

GODE F., PEHLIVAN, E. Adsorption of Cr(III) ions by Turkish brown coals. **Fuel Processing Technology**, v. 86, 875-884, 2005.

GODE, F., PEHLIVAN, E. Sorption of Cr(III) onto chelating b-DAEG–sporopollenin and CEP–sporopollenin resins. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 904–911, 2007.

GOSSET, T.; TRANCART, J. L.; THÉVENOT, D. R. Batch metal removal by peat. Kinetics and thermodynamics. **Water Research**, v. 20, p. 21-26, 1986.

GRUPTA, R., AHUJA, P., KHAN, S., SEXENA, R. K., MOHAPTRA, H. Microbial biosorbents: meeting challenges of heavy metal pollution in aqueous solutions. **Current Science**, v. 78, n. 8, p. 967, 2000.

GUNDOGAN, R.; ACEMIOGLU, B.; ALMA, M. H. Copper (II) adsorption from aqueous solution by herbaceous peat. **Journal of colloid and interface science**. v. 269, p. 305, 2004.

HAN, X., WONG, Y. S., TAM, N. F. Y. Surface complexation mechanism and modeling in Cr(III) biosorption by a microalgal isolate, *Chlorella miniata*. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 303, p. 365, 2006.

HARDIN, A. M., ADMASSU, W. Kinetics of heavy metal uptake by vegetation immobilized in a polysulfone or polycarbonate polymeric matrix. **J. Hazard. Mater**, B126, p. 40-53, 2005.

HO, Y. S., MCKAY, G. The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. **Water Research**, v. 34, n. 3, p. 735-742, 2000.

IBÁÑEZ, J. P., UMETSU, Y., Uptake of trivalent chromium from aqueous solutions using protonated dry alginete beads. **Hydrometallurgy**, v. 72, p. 327-334, 2004.

KIMBROUGH, D.E., COHEN, Y., WINER, A. M., CREELMAN, L., MABUNI, C. A critical assessment of chromium in the environment. **Critical reviews in environmental science and technology**. V. 29, n. 1, p. 1-46, 1999.

KRATOCHVIL D., VOLESKY, B. Advances in the biosorption of heavy metals. **Trends in Biotechnology**, v. 16, p. 291-300, 1998.

KRISHNAMOORTHY, H.S., SHANMUGAM, T. Effluent treatment with lignite. **Indian J. Environmental Prot.** v. 6, n. 3, p. 169-171, 1986.

KUMAR, R., BISHNOI, N. R., GARIMA, BISHNOI, K. Biosorption of chromium(VI) from aqueous solution and electroplating wastewater using fungal biomass, **Chem. Eng. Journal**. v. 135, p. 202–208, 2008.

LI, Z., GUO, S., LI, L. Study on the process, thermodynamical isotherm and mechanism of Cr(III) uptake by *Spirulina platensis*. **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 129, 2006.

MA, W., TOBIN, J. M. Determination and modelling of effects of pH on peat biosorption of chromium, copper and cadmium. **Biochemical Engineering Journal**. v. 18, p. 33-40, 2004.

MALTERER, T., MCCARTHY, B., ADAMS, R. Use of peat in waste treatment. **Mining engineering**, p. 53-56, 1996.

MCKAY, G. Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters. New York, Boca Raton, London e Tokyo: CRC Press, 1996.

MCLELLAN, J. K.; ROCK, C. A. Pretreating landfill leachate with peat to remove metals. **Water, air and soil pollution**. V. 37, p. 203-215, 1986.

MOHAN, D., PITTMAN, C. U. Jr. Activated carbon and low cost adsorbents for remediation of tri and hexavalent chromium from water. **J. Hazard. Mater.** v. 137, p. 762-811, 2006.

OLADOJA, N. A., ADEMOROTI, C. M. A., ÁSIA, I. O. Treatment of industrial effluents using fortified soil-clay. **Desalination**, v. 197, p. 247, 2006.

PETRONI, S. L. G., PIRES, M. A. F. Adsorção de zinco e cádmio em colunas de turfa. **Química nova**, v. 23, p.477-481, 2000.

ROMÃO, L. P. C., LEAD, J. R., ROCHA, J. C., OLIVEIRA, L. C., ROSA, A. H., MENDONÇA, A. G. R., RIBEIRO, A. S. Structure and properties of brazilian peat: analysis by spectroscopy and microscopy. **J. Brazilians Chemistry Society**, v. 18, p. 714-720, 2007.

SANTOS, R. A., MARTINS, A. A. M., NEVES, J. P., LEAL, R. A. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe. Texto explicativo do Mapa geológico do Estado de Sergipe. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT; CODISE, 2001. Disponível em: <ftp://ftp.cprm.gov.br/pub/pdf/sergipe/> acesso em: 19 de abril de 2007.

SHARMA, D. C., FORSTER, C. F. Removal of hexavalent chromium using sphagnum moss peat. **Water Res.** V. 27, p. 1201-1208, 1993.

SMITH, E. F., McCARTHY, P., MARK, H. B. Jr. Sulfuric acid treatment of peat for cation exchange. **Journal Water Pollut. Control Fed.** v. 49, n. 4, p. 633-638, 1977.

VOLESKY, B. Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. **Hydrometallurgy**, v. 59, p. 203- 216, 2001.

WALSH, A. R., O'HALLORAN J., GOWER, A. M., **Ecotoxicological Environmental Safety**, v. 27, p. 168-175, 1994.

ANEXO

(Teste Estatístico ANOVA one-way)

Teste estatístico ANOVA – one way

Variável: Turfas *in natura* de Santo Amaro das Brotas e São Paulo

Resumo

Grupo	N	Média	SD	SE
SAO	3	4,90222	0,01265	0,51747
SAP	3	1,70667	0,01358	0,16667

ANOVA

Fonte de variação	DoF	Soma	Valor F	Valor P
Modelo	1	6,00000000	13,53383	0,02123
Erro	4	0,443333333		

A média da população é significativamente diferente ao nível a 0,05.

Variável: Turfas *in natura* de Santo Amaro das Brotas e Itabaiana

Resumo

Grupo	N	Média	SD	SE
SAO	3	4,90222	0,01265	0,51747
ITA	3	1,40466	0,01258	0,1453

ANOVA

Fonte de variação	DoF	Soma	Valor F	Valor P
Modelo	1	7,26000000	16,75385	0,01494
Erro	4	0,443333333		

A média da população é significativamente diferente ao nível a 0,05.

Variável: Turfas *in natura* de São Paulo e Itabaiana

Resumo

Grupo	N	Média	SD	SE
SAP	3	1,70667	0,01358	0,16667
ITA	3	1,40466	0,01258	0,1453

ANOVA

Fonte de variação	DoF	Soma	Valor F	Valor P
Modelo	1	0,060000000	0,81818	0,41687
Erro	4	0,073333333		

A média da população não é significativamente diferente ao nível a 0,05.

Variável: Turfa de Santo Amaro das Brotas tratada quimicamente com HCl e HCl + NaOH

Resumo

Grupo	N	Média	SD	SE
HCl	3	3,29667	0,01328	0,00882
HCl + NaOH	3	3,40333	0,01228	0,00882

ANOVA

Fonte de variação	DoF	Soma	Valor F	Valor P
Modelo	1	0,0170666667	73,14286	0,00103
Erro	4	2,33333333E-4		

A média da população é significativamente diferente ao nível a 0,05.

Variável: Turfa de São Paulo tratada quimicamente com HCl e HCl + NaOH

Resumo

Grupo	N	Média	SD	SE
HCl	3	2,19667	0,01428	0,00882
HCl + NaOH	3	1,70333	0,02417	0,01453

ANOVA

Fonte de variação	DoF	Soma	Valor F	Valor P
Modelo	1	0,365066667	842,46154	0,00001
Erro	4	4,33333333E-4		

A média da população é significativamente diferente ao nível a 0,05.

Variável: Turfa de Itabaiana tratada quimicamente com HCl e HCl + NaOH

Resumo

Grupo	N	Média	SD	SE
HCl	3	1,90333	0,01328	0,00882
HCl + NaOH	3	1,69667	0,01438	0,02603

ANOVA

Fonte de variação	DoF	Soma	Valor F	Valor P
Modelo	1	0,0640666667	56,52941	0,00168
Erro	4	0,00113333333		

A média da população é significativamente diferente ao nível a 0,05.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)