

II-109 - CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DE LODO DE ESGOTO SANITÁRIO *IN NATURA*, PIROLISADO E FUNCIONALIZADO PARA POSTERIOR APLICAÇÃO COMO ADSORVENTES

Izadora Consalter Pereira⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), câmpus Francisco Beltrão. Mestranda em Engenharia Civil pela UTFPR (PPGEC), câmpus Curitiba.

Karina Querne de Carvalho⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre e Doutora em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba.

Fernando Hermes Passig⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba.

Thiago Castanho Pereira⁽⁴⁾

Graduando no curso de Bacharelado em Química pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba.

Alexandre José Gonçalves⁽⁵⁾

Tecnólogo em Automação Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba.

Endereço⁽¹⁾: Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000, Sede Ecoville – Cidade Industrial de Curitiba – Curitiba – Paraná – CEP: 81280-340 – Brasil – Tel: (44) 99965-8282 – e-mail: iza.consalter@hotmail.com

RESUMO

A grande quantidade de lodo de esgoto sanitário gerado atualmente é uma questão abrangente, principalmente relacionada à disposição final deste resíduo. Tendo em vista que estes resíduos encontram-se em abrangência e com facilidade de obtenção, a reutilização do mesmo depara-se como uma alternativa sustentável aliando seu potencial de reciclagem a uma técnica de tratamento de efluentes destacando-se na remoção de corantes e poluentes dificilmente biodegradáveis. Portanto, o processo de adsorção apresenta-se como uma técnica promissora em comparação com outros métodos de remoção, pois a além de utilizar adsorventes alternativos, alia baixo custo e possibilita reciclagem o adsorvente, permitindo que o mesmo seja reutilizado no processo. Com isso, este trabalho teve como objetivo utilizar o lodo de esgoto sanitário como adsorvente, a fim de verificar qual o melhor adsorvente preparado a partir de ativações por processo de pirólise e ativação química no lodo com o intuito que o mesmo apresente a maior eficiência na remoção de corante. O estudo baseia-se inicialmente na secagem do lodo sanitário coletado antes do processo de calagem e secagem, que posteriormente foi triturado e peneirado em diferentes granulometrias. Em seguida, o material passou por tratamento térmico e também seguido de tratamento químico com ácido nítrico (HNO_3) 0,1 mol/L. Todos os adsorventes (lodo *in natura*, lodo pirolisado e lodo com tratamento químico utilizando HNO_3) foram caracterizados físico-quimicamente por teor de umidade, teor de material volátil e cinzas, pH, massa específica real, determinação do pH do ponto de carga zero (pH_{pzc}), Espectrometria no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Método de Boehm para determinação dos grupos funcionais presentes na superfície, e morfologia através da visualização da partícula com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS). Desta maneira, concluiu-se que o lodo de esgoto sanitário apresenta especificações condizentes para tornar-se um adsorvente satisfatório na remoção de corante, e os resultados de caracterização indicam que é possível utilizá-lo como adsorvente alternativo de baixo custo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto sanitário, Corante, Adsorção, Reciclagem de resíduos.

INTRODUÇÃO

A contaminação dos recursos hídricos é uma preocupação da sociedade sensibilizada sobre a importância da proteção ao ambiente, cada vez mais atenta com as questões de escassez dos recursos disponíveis, uma vez

que os problemas ambientais têm se tornado mais frequentes principalmente devido à expansão das atividades industriais e crescimento populacional.

Dentro deste contexto, a remoção de corantes provenientes de indústrias têxteis recebe destaque, pois na indústria há geração de efluentes líquidos, os quais quando não corretamente tratados e destinados, são possíveis causadores de contaminação dos corpos hídricos receptores, influenciando no índice de qualidade da água (SOARES, 1998). Apesar da existência de alternativas para tratamento de águas residuárias, parte dos processos atuais são onerosos que, em geral, produzem novos resíduos sem potencial de reaproveitamento. A adsorção é uma técnica de menor custo utilizada para remoção da cor, pois é um processo amplamente utilizado na remoção de poluentes dificilmente biodegradáveis (LEDAKOWICS et al., 2001). Entretanto, devido ao alto custo para aquisição de adsorventes convencionais, pesquisas sobre a adsorção com novos métodos tecnológicos e economicamente viáveis vêm sendo realizadas com uso de adsorventes alternativos.

Uma alternativa sustentável com uso de adsorvente de menor custo é a utilização de lodo de esgoto sanitário proveniente de estações de tratamento de esgotos. De acordo com Andreoli e Pinto (2001), a produção anual de lodo no Brasil está estimada entre 150 mil e 220 mil toneladas de matéria seca. Entretanto, houve um incremento substancial na quantidade de lodo disposto na última década em consequência da construção de novas estações de tratamento e ampliação do número de conexões na rede de esgoto. Com isso, houve aumento do volume de esgoto gerado, e a presente pesquisa apresenta uma possível alternativa de disposição e utilização deste lodo (SMITH *et al.* 2009). A população urbana brasileira está estimada em 116 milhões de habitantes, contudo apenas 32 milhões de pessoas têm coleta de esgoto, o qual, caso fosse integralmente coletado e tratado, acarretaria uma produção aproximada de 325 mil a 473 mil toneladas por ano (ANDREOLI; PINTO, 2001).

Tendo em vista que estes resíduos são vistos atualmente com interesse em razão do seu valor econômico, disponibilidade e facilidade de obtenção, neste trabalho objetivou-se caracterizar o lodo de esgoto sanitário *in natura*, pirolisado e tratado quimicamente para avaliar seu potencial como adsorvente alternativo na remoção de corante e apresentar uma alternativa para reciclagem do lodo.

OBJETIVO

Verificar o potencial adsorptivo do lodo de esgoto sanitário *in natura*, pirolisado e funcionalizado com solução de ácido nítrico (HNO_3) na remoção de corante como alternativas ao carvão ativado comercial.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo baseia-se inicialmente na coleta de amostras de lodo de esgoto sanitário em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) localizada em Curitiba – Paraná. As amostras do lodo, secundário, foram retiradas antes do processo de secagem e calagem. Antes do início do preparo dos adsorventes realizou-se etapa de pré-tratamento das amostras de lodo. Primeiramente as amostras de lodo *in natura* foram secas em estufa a temperatura de 105 (5) °C durante 24 h. Após seco, este material foi triturado em moinho de peneiras, marca Dialmática, modelo HSM100, para adquirir dimensões homogêneas e posteriormente, foi peneirado em agitador de peneiras, da marca BERTEL, para obtenção de frações granulométricas de 0,6 mm a 0,075 mm.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O ensaio de granulometria foi realizado de acordo com procedimentos descritos na norma NBR NM 248 (2003). Nesta metodologia foi determinada a massa da amostra, e esta foi acondicionada em um conjunto de peneiras acopladas a um peneirador eletrogravimétrico, marca CONTENCE, sob agitação a 100 rpm durante 6 min. Após o término da agitação, as peneiras foram retiradas e determinadas as massas dos materiais retidos em cada peneira em balança analítica Shimadzu, modelo AUY220.

PREPARO DOS ADSORVENTES

Após o pré-tratamento do material, realizaram-se os tratamentos físico (térmico) e químico no lodo de esgoto. O tratamento térmico foi conduzido por pirólise a 500 °C de acordo com procedimentos descritos por Vasques

et al. (2011) e o tratamento químico com solução de ácido nítrico (HNO_3) 0,1 M de acordo procedimentos descritos por Sonai *et al.* (2016).

Para realização do tratamento térmico as amostras do lodo *in natura* foram calcinadas a temperatura de 300 °C em mufla, marca Zezimaq, durante 3 h. Após este período, a temperatura foi aumentada para 500 °C e mantida por mais uma hora na mufla.

O tratamento químico foi feito com solução de ácido nítrico (HNO_3) nas amostras do lodo previamente pirolisado no tratamento térmico. O tratamento químico tem como finalidade a modificação da superfície do adsorvente visando ao aumento da capacidade de adsorção (SONAI *et al.*, 2016). Nesta etapa, 1,0 g do material pirolisado foi colocado em contato com 50 mL da solução de HNO_3 0,1 M. O sistema permaneceu sob agitação de 115 rpm em incubadora Shaker, marca SOLAB e modelo SL222, durante 3 h. O material sobrenadante foi filtrado em papel filtro qualitativo de faixa azul de 12,5 cm de diâmetro e em seguida, o material sólido adsorvente foi seco em estufa a 105 °C até obter-se massa constante. Os adsorventes obtidos após estes procedimentos foram pesados em balança analítica, marca Shimadzu, modelo AUY220 e acondicionados em dessecador para posterior utilização.

CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO ADSORVENTE

As caracterizações físico-químicas dos materiais adsorventes foram realizadas com o objetivo de correlacioná-los posteriormente com suas capacidades adsorptivas para o corante na segunda etapa do estudo. Os parâmetros determinados para as amostras dos adsorventes lodo de esgoto *in natura*, pirolisado e funcionalizado por tratamento químico foram granulometria, teor de umidade, teor de material volátil, teor de cinzas, massa específica real, pH, pH do ponto de carga zero (pH_{pcz}), Espectrometria no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Método de Boehm, morfologia por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e por Sistema de Energia Dispersiva (EDS).

Na Tabela 1 são apresentados estes parâmetros e suas respectivas unidades e referências para realização das análises de caracterização do lodo de esgoto *in natura*, pirolisado e funcionalizado com HNO_3 .

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos e métodos utilizados nas análises de caracterização

PARÂMETROS	UNIDADE	EQUIPAMENTO	NORMA/REFERÊNCIA
GRANULOMETRIA	mm	Moinho de panelas, Dialmática, HSM100; Peneiras BERTEL	NBR NM 248 (2003)
TEOR DE UMIDADE	%	Estufa Medclave; balança analítica Shimadzu, AUY220	ASTM D 2867 (2004)
TEOR DE MATERIAL VOLÁTIL	%	Balança analítica Shimadzu, AUY220; Mufla Zezimaq	ASTM D 5832-98 (2003)
TEOR DE CINZAS	%	Mufla Zezimaq; balança analítica Shimadzu, AUY220	ASTM D 2866-94 (1998)
MASSA ESPECÍFICA REAL	Pa	Multipicnômetro de Hélio Quantachrome, MVP-D160-E	ASTM D 6226 (2005)
pH	-	pHmetro EVEN, PHS-3E	ASTM D 3838-80 (1999)
pH _{pcz}	-	Incubadora SHAKER SL222, SOLAB; pHmetro EVEN, PHS-3E	Adaptado de Babic <i>et al.</i> (1999)
GRUPOS FUNCIONAIS	cm ⁻¹	Espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR): Varian; 640-IR	SILVERSTEIN <i>et al.</i> (2005)
GRUPOS FUNCIONAIS ÁCIDOS	mEq.g ⁻¹	Incubadora SHAKER SL222, marca SOLAB; balança analítica Shimadzu, AUY220	BOEHM (2002)
IMAGENS DA SUPERFÍCIE	-	Metalizador Quorum, Q150RES; Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Zeiss, EVO/MAI 15	DEDAVID <i>et al.</i> (2007)

A partir dos resultados destas análises, será avaliada posteriormente a eficiência do lodo de esgoto como adsorvente alternativo na remoção de efluentes têxteis.

O valor do pH_{pcz} foi verificado a partir do gráfico do pH final da solução *versus* pH inicial da solução, e então, visualizou-se uma região com determinada faixa de pH final constante, denominado portanto, como pH_{pcz}.

A análise por meio do FTIR foi realizada com o objetivo de identificar os principais grupos funcionais presentes nas estruturas das amostras do lodo *in natura*, lodo pirolisado e lodo tratado quimicamente com HNO₃.

A identificação dos grupos funcionais por técnicas titulométricas foi possível a partir do desenvolvimento do método de Boehm. O método de Boehm consiste em uma neutralização seletiva dos grupos ácidos da superfície do adsorvente utilizando bases de diferentes forças e dos grupos básicos utilizando solução de HCl (BOEHM, 2002).

As análises de imagem e composição química dos materiais adsorventes foram realizadas por meio de microscópio eletrônico de varredura (MEV), no qual é possível observar a superfície do material, obtendo informações sobre sua morfologia estrutural em diferentes lentes de ampliação.

A microanálise por Espectrômetro de raios-X por Dispersão de Energia é uma ferramenta do MEV e foi verificado para identificar os elementos químicos presentes nas amostras do lodo *in natura*, pirolisado e pirolisado com tratamento químico, através de análises pontuais.

RESULTADOS OBTIDOS

Em função dos resultados obtidos nos ensaios de granulometria, as frações escolhidas para realização das demais análises foram aquelas retidas na peneira de 0,075 mm e na peneira chamada “fundo” do agitador, com diâmetro médio de 0,026 mm.

Os resultados das caracterizações físico-químicas para as amostras de lodo *in natura*, pirolisado e funcionalizado quimicamente são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados obtidos de caracterização dos adsorventes

PARÂMETROS	N	IN NATURA	PIROLISADO	FUNCIONALIZADO
TEOR DE UMIDADE (%)	3	3,82 (0,16)	0,81 (0,14)	7,57 (0,48)
TEOR DE MATERIAL VOLÁTIL (%)	3	58,49 (0,30)	24,08 (0,51)	43,57 (1,41)
TEOR DE CINZAS (%)	3	48,03 (0,30)	18,96 (0,49)	46,34 (0,53)
MASSA ESPECÍFICA REAL (Pa)	3	1,56 (0,02)	2,42 (0,03)	2,87 (0,03)
pH	3	6,33 (0,03)	8,19 (0,008)	3,41 (0,04)
pH _{pcz}	3	7,52 (0,10)	7,43 (0,25)	4,81 (0,21)

* N = número de amostras

** Os valores correspondem à média (desvio padrão)

Observa-se que o valor do pH diminui consideravelmente entre o pH do lodo *in natura* e lodo funcionalizado. Para o lodo *in natura* e o lodo pirolisado seguido de tratamento químico, os valores do pH resultaram em 6,33 e 3,41, respectivamente. Esta variação é decorrente do tratamento químico com ácido nítrico. Sonai *et al.* (2016) verificaram pH em amostras do lodo de esgoto *in natura* e pirolisado e tratado quimicamente de 7,66 e 3,80, respectivamente, corroborando o fato da redução do pH dar-se pela realização do tratamento químico.

O reduzido teor de umidade obtido para as amostras do lodo *in natura* foi de 3,82% pode ser justificado pelo pré-tratamento com secagem em estufa por 24 h. Nas amostras do lodo pirolisado, este teor foi ainda menor, de 0,81% devido à pirólise a 500 °C na mufla. Sonai *et al.* (2016) notaram teor de umidade de 7,77% em amostras de lodo pirolisado e tratado quimicamente, valor similar ao notado neste trabalho de 7,57%.

Conforme esperado, houve considerável redução do percentual de material volátil ao comparar o lodo *in natura* e lodo pirolisado, uma vez que o lodo passou por tratamento térmico anteriormente, originando

possivelmente compostos condensados. Os valores verificados nas amostras do lodo *in natura*, pirolisado e tratado quimicamente foram de 58,49 (0,30)%, 24,08 (0,51)% e 43,57 (1,41)%, respectivamente. Vasques (2008) observou teor de material volátil nas amostras do lodo *in natura* e pirolisado de 47,44% e 18,62%, respectivamente.

Foram obtidos valores de teor de cinzas de 48,03 (0,03)%, 18,96 (0,49)% e 46,34 (0,53)% nas amostras de lodo *in natura*, pirolisado e com tratamento químico, respectivamente. Fonts *et al.* (2009) obtiveram 39,9 a 52,0% de cinzas para amostras de lodo de esgoto *in natura*. Os resultados indicam maior concentração de matéria inorgânica nos adsorventes pirolisados e funcionalizados, em comparação ao lodo *in natura*, ocasionado pela perda de umidade e material orgânico.

MEV

As fotomicrografias imagens da superfície das amostras do lodo *in natura*, pirolisado e tratado quimicamente com HNO_3 foram ampliadas 4.000 a 10.000 vezes conforme pode ser visualizado nas Figuras 1(a) a 1(f).

As observações microscópicas ressaltam a estrutura morfológica das amostras de adsorventes. É possível notar que os adsorventes possuem superfícies irregulares com presença de fendas e cavidades, com possibilidade de favorecimento do processo de adsorção.

A partir da visualização e comparação entre as imagens do MEV, notou-se que não há diferença significativa na estrutura porosa dos adsorventes *in natura* e tratado termicamente.

Entretanto, verificou-se que a maior área superficial assim como poros de tamanhos maiores foram averiguados na superfície do lodo pirolisado e funcionalizado com HNO_3 a partir de visualizações por meio do MEV, e este material pode apresentar significativa adesão à molécula do adsorvato.

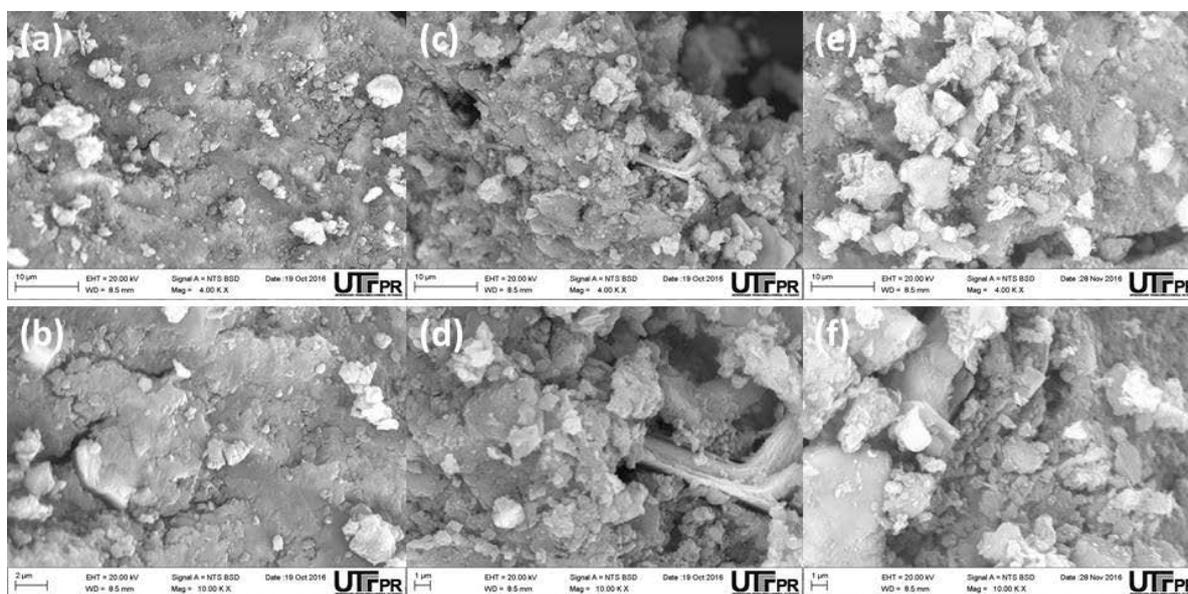


Figura 1: Fotomicrografias de MEV da superfície das amostras do lodo - *in natura* (a) (4000 x); (b) 10000 x; pirolisado (c) 4000 x; (d) 10000 x; pirolisado e funcionalizado (e) 4000 x; (f) 10000 x.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da análise elementar das amostras do lodo *in natura*, pirolisado e pirolisado com tratamento químico pelo espectro de energia dispersiva (EDS).

Tabela 3: Análise elementar pelo espectro de raios-x por energia dispersiva (EDS) nas amostras de lodo

AMOSTRAS	C (%)	O (%)	Al (%)	Fe (%)	S (%)	Si (%)	P (%)	Ca (%)	OUTROS (%)	TOTAL (%)
<i>IN NATURA</i>	39,85	35,92	4,58	3,46	3,20	7,07	1,65	2,43	1,85	100
PIROLISADO	29,43	43,23	6,15	3,71	1,65	7,47	2,29	3,23	2,85	100
PIROLISADO E FUNCIONALIZADO COM HNO ₃	34,00	44,75	3,70	3,17	1,63	10,58	0,79	0,30	1,08	100

FTIR

As principais bandas dos grupos funcionais estão apresentadas nas Figuras 2(a) a 2(c). Em todos os espectrogramas foi possível observar uma banda entre 3200 cm⁻¹ e 3600 cm⁻¹, que correspondem ao estiramento O-H de grupos hidroxílicos de fenol e grupos carboxílicos e ao estiramento de N-H de grupos aminas e amidas (SILVERSTEIN *et al.*, 2005). A banda de aproximadamente 2360 cm⁻¹ é apresentada em todos os espectrogramas e corresponde ao estiramento C ≡ N.

No espectrograma 2(a), relacionado às amostras do lodo *in natura*, nota-se presença de bandas a 2925 cm⁻¹ e 2850 cm⁻¹ que referem-se aos estiramentos assimétricos de ligações C-H alifáticas. Estas bandas são evidenciadas exclusivamente nas amostras do lodo *in natura*, pois as ligações de C-H podem ser facilmente rompidas com mudanças bruscas de temperatura (ZHANG *et al.*, 2011).

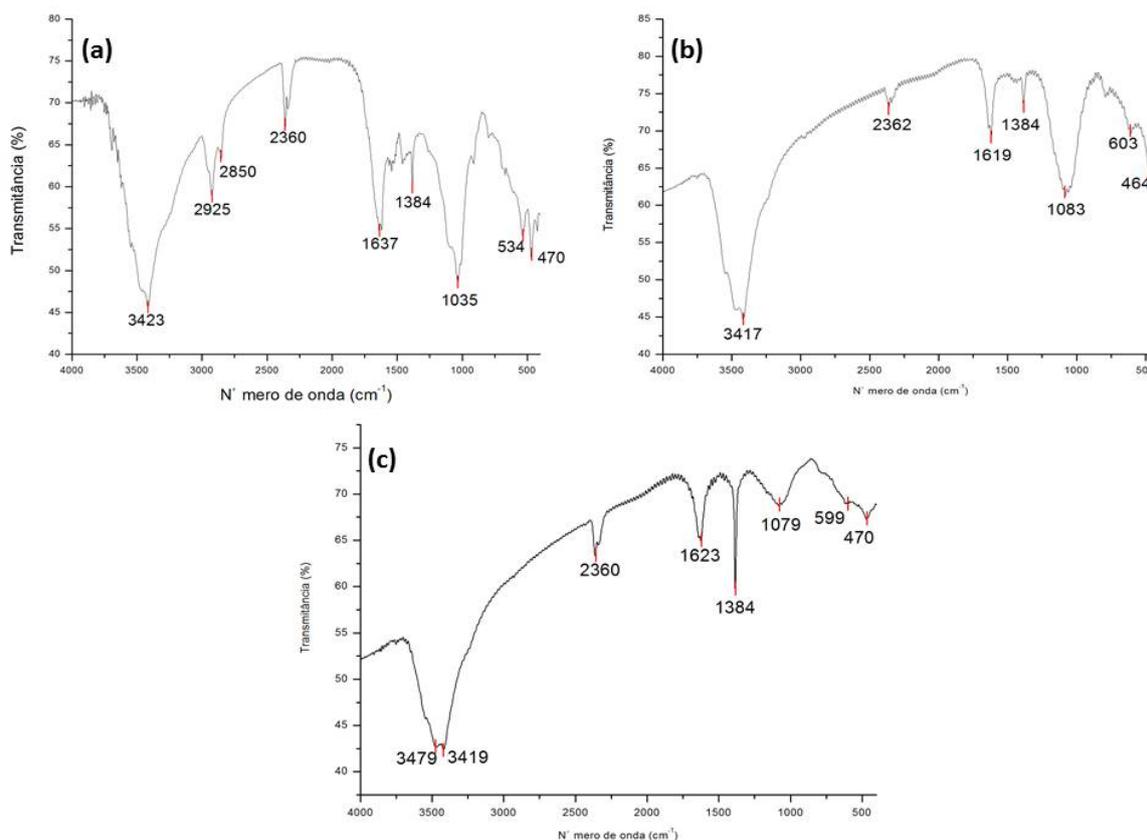


Figura 2: (a) Espectrogramas de amostras do lodo *in natura*; (b) lodo pirolisado; (c) lodo pirolisado com tratamento químico com HNO₃

Na Tabela 4 podem ser verificados os principais grupos funcionais determinado por Silverstein *et al.* (2005) e suas respectivas bandas na região do infravermelho.

Tabela 4: Grupos funcionais e suas bandas de absorção no infravermelho

GRUPO OU FUNCIONALIDADE	REGIÕES (cm ⁻¹)
Alcenos	650 – 1000; 1380 – 1420
Alcinos	700 – 750
Aromáticos	3150 – 3250
C – O	640 – 840
O – H	1000 – 1200; 3200 – 3600
C = O	1650 – 1850
C ≡ N	2280 – 2380
NH ₂ NH	3200 – 3500

Fonte: Adaptado de Silverstein *et al.* (2005)

Após o tratamento térmico a 500 °C e tratamento químico com HNO₃ observou-se diminuição de alguns grupos funcionais, que pode ser justificado pela remoção de parte da matéria orgânica pelo processo de pirólise e tratamento com a solução ácida.

PONTO DE CARGA ZERO (pcz)

Na Figura 3 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios do ponto de carga zero para as amostras do lodo *in natura*, pirolisado e pirolisado e funcionalizado com HNO₃.

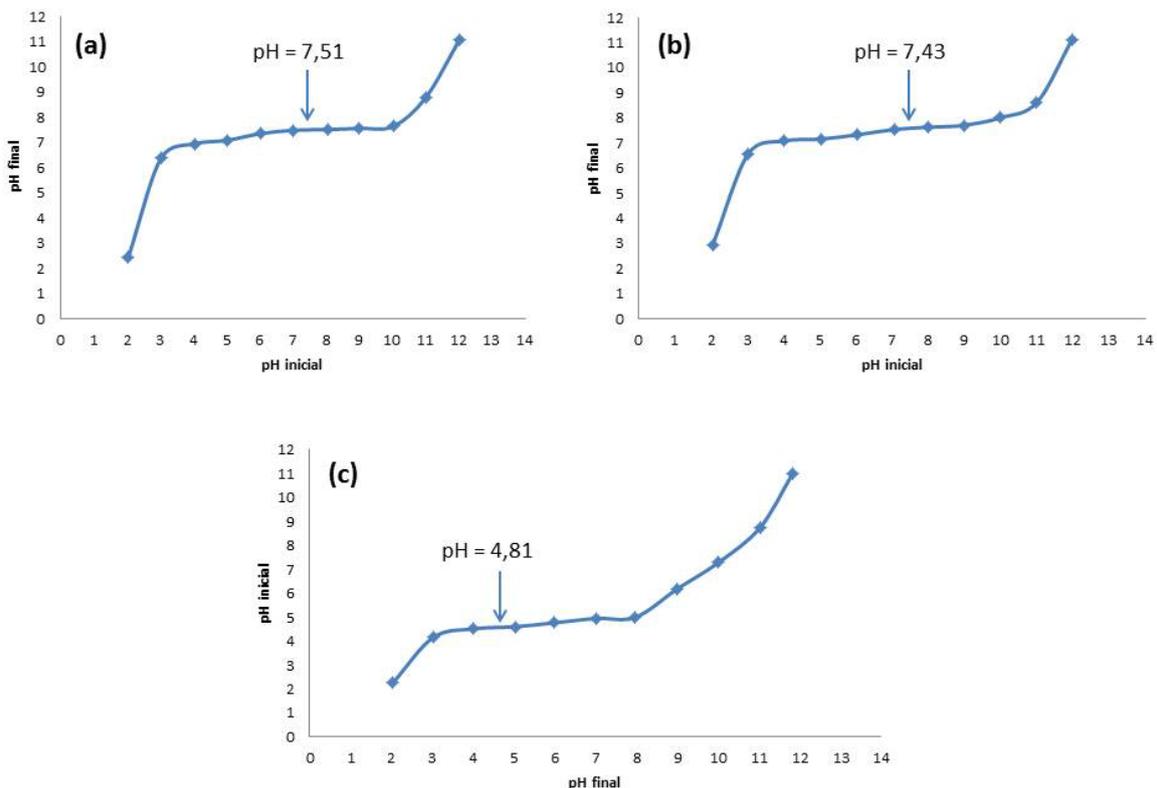


Figura 3: Resultados das análises de ponto de carga zero para lodo a) *in natura*; b) pirolisado; c) pirolisado e funcionalização com HNO₃

Os valores obtidos foram de 7,51, 7,43 e 4,81 para os adsorventes citados, respectivamente. Como pH_{pzc} corresponde ao valor do pH no qual a carga da superfície do adsorvente é nula, os grupos funcionais podem influenciar no pH dos materiais.

Os valores do pH_{pzc} do lodo *in natura* e pirolisado indicaram presença de grupos funcionais neutros. Para valores superiores à neutralidade (aproximadamente 7,0), a superfície do material adsorvente reúne cargas

negativas e para valores inferiores, cargas positivas. O valor do pH_{pcz} de 4,81 para o lodo pirolisado e funcionalizado indicou que o tratamento químico contribuiu fortemente para a acidez do adsorvente.

MÉTODO DE BOEHM

Os resultados do método Boehm e do ponto de carga zero (pH_{pcz}) são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados da titulação pelo método de Boehm

ADSORVENTES	BOEHM			pH _{pcz}
	GRUPOS ÁCIDOS			
	Carboxílicos (mEq.g ⁻¹)	Lactônicos (mEq.g ⁻¹)	Fenólicos (mEq.g ⁻¹)	
<i>IN NATURA</i>	0,885	0,094	0,126	7,52
PIROLISADO	0,913	0,102	0,311	7,43
PIROLISADO E FUNCIONALIZADO COM HNO ₃	0,987	0,058	0,299	4,81

O método de titulação de Boehm fornece um bom indicativo sobre os complexos de oxigênio na superfície.

Pelos resultados obtidos com o método de titulação de Boehm foi possível notar características semelhantes entre os adsorventes, que possuem a maior parte de sua superfície composta por grupos carboxílicos, seguidos por grupos fenólicos e lactônicos. Entretanto, o lodo pirolisado e funcionalizado com HNO₃ apresentou maior valor total de grupos ácidos em relação aos demais adsorventes, que pode ser devido ao tratamento com HNO₃, o qual apresenta capacidade de promover a inserção ou aumento nos grupos ácidos sob a superfície do adsorvente.

Sonai *et al.* (2012) verificaram valores aproximados de 1,012 mEq.g⁻¹ e 0,828 mEq.g⁻¹ de ácidos carboxílicos, 0,388 mEq.g⁻¹ e 0,286 mEq.g⁻¹ de ácidos fenólicos e 0,128 mEq.g⁻¹ e 0,038 mEq.g⁻¹ de ácidos lactônicos em adsorvente preparado a partir de lodo de esgoto têxtil tratado termicamente a 500 °C e lodo de esgoto tratado termicamente com H₂SO₄, respectivamente.

Estes valores são similares aos observados neste trabalho para amostras do lodo de esgoto pirolisado e funcionalizado com HNO₃.

O tratamento com o ácido conferiu maior quantidade de grupos carboxílicos e menor valor do pH_{pcz} de até 4,81.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, pode-se afirmar que as características dos adsorventes a partir do lodo de esgoto sanitário podem ser compatíveis com as características necessárias para obtenção de um adsorvente eficiente.

Os resultados obtidos indicam que estes resíduos de estações de tratamento de esgoto podem ser tratados termicamente e quimicamente visando aumento da adsorção de corantes como alternativa à utilização do carvão ativado comercial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica, ao Laboratório de Saneamento (LabSan) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC-UTFPR-CT) pela infraestrutura para desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C. V (coordenador); PINTO, M. A. T. *Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final*. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282 p.: il. Projeto PROSAB.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 248:2003. *Agregados – Determinação da composição granulométrica*.
3. ASTM - AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. *D 3838-1980: Standard Test Method for pH of Activated Carbon*. 1999.
4. _____. *D 2867 (2004): Standard Test Method for Moisture in Activated Carbon*. 2004.
5. _____. *D 5832-1998 (2003): Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon*.
6. _____. *D 2866-1994 (1998): Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon*.
7. _____. *D 6226 (2005): Standard Test Method for Open Cell Content of Rigid Cellular Plastics*.
8. BABIC, B. M.; MILONJIĆ, S. K.; POLOVINA, M. J.; KALUDIEROVIC, B. V. *Point of zero charge and intrinsic equilibrium constants of activated carbon cloth*. *Carbon*, v. 37, n. 3, p. 477-481, 1999.
9. BOEHM, H. P. *Surface oxides on carbon and their analysis: a critical assessment*. *Carbon*, v. 40, p. 145-149. 2002.
10. DEDAVID, B. A., GOMES, C. I., MACHADO, G. *Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores [recurso eletrônico]* Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
11. FONTS, I.; AZUARA, M.; GEA, G.; MURILLO, M. B. *Study of the pyrolysis liquids obtained from different sewage sludge*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 85, n. 1-2, p. 184-191, maio 2009.
12. JAIN, A.; GUPTA, V.; BHATNAGAR, A. *Utilization of industrial waste products as adsorbents for the removal of dyes*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 101, n. 1, p. 31-42, 2003.
13. LEDAKOWICZ, S.; SOLECKA, M.; ZYLLA, R. *Biodegradation, decolourisation and detoxification of textile wastewater enhanced by advanced oxidation process*. *Journal of Biotechnology*, v. 89, p. 175 -184, 2001.
14. SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D.J. *Identificação espectrométrica de compostos orgânicos*. 7. ed. Rio de Janeiro: LCT, 2005.
15. SMITH, K. M.; FOWLER, G. D.; PULLKET, S.; GRAHAM, N. J. D. *Sewage sludge-based adsorbents: a review of their production, properties and use in water treatment applications*. *Water Research*, v. 43, n. 10, p. 2569-94, jun. 2009.
16. SOARES, J. L. *Remoção de Corantes Têxteis por Adsorção em Carvão Mineral Ativado Com Alto Teor de Cinzas*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 1998.
17. SONAI, Gabriela G.; SOUZA, Selene. M. A. Guelli U. de; OLIVEIRA, Débora de; SOUZA, Antônio Augusto Ulson de. *The application of textile sludge adsorbents for the removal of Reactive Red 2 dye*. *Journal of Environmental Management* 168 (2016) 149 – 156.
18. ZHANG, B.; XIONG, S.; XIAO, B.; YU, D.; JIA, X. *Mechanism of wet sewage sludge pyrolysis in a tubular furnace*. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 36, n. 1, p. 355-363, jan. 2011.
19. VASQUES, A. R.; *Caracterização e aplicação de adsorvente para remoção de corantes de efluentes têxteis em batelada e colunas de leito fixo*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Florianópolis, 2008.
20. VASQUES, A. R.; SOUZA, S. M. A. G. U. de; WEISSENBERG, L.; SOUZA, A. A. U. de; VALLE, J. A. B. *Adsorção dos corantes RO16, RR2 e RRI41 utilizando lodo residual da indústria têxtil*. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 16 n. 3. Jul/set 2011. p. 245 – 252.