

CARACTERIZAÇÃO DE LODO RESIDUAL PRODUZIDO EM PALMAS, TOCANTINS

Magno Tavares Lima dos Santos¹, Thaysa Araújo Campos¹, Elaine da Cunha Silva Paz², Marcelo Mendes Pedroza³, Danilo Rodrigues de Almeida⁴, Wesley Marques Barbosa⁵

¹Estudante do Ensino Médio Integrado em Agronegócio, bolsista do CNPq. e-mail: magnetavares99@gmail.com

¹Estudante do Ensino Médio Integrado em Agronegócio, bolsista do CNPq. e-mail: thaysacampos.tc@gmail.com

²Química pela Universidade Federal do Piauí- IFTO, e-mail: elaine@ifto.edu.br

³Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte- IFTO, e-mail: mendes@ifto.edu.br

⁴Estudante do Ensino Médio Integrado em Mecatrônica –IFTO, bolsista do CNPq. e-mail: danilo-rod-almeida@hotmail.com.

⁵Estudante do curso Técnico Controle Ambiental, bolsista do CNPq. e-mail: marquesbarbosawesley@gmail.com

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo determinar as características químicas de lodos domésticos produzidos no Brasil. As amostras foram coletadas em leitos de secagem de estação de tratamento de esgoto. Os lodos LD-1 e LD-10 eram lodos tipicamente anaeróbios e a amostra LD-6 era um lodo misto, rico em cloreto férrico. LD-1 e LD-6 apresentaram teores de umidade de 12,0 e 11,5%, respectivamente. O maior teor de cinzas foi observado na amostra LD-6 (46,2%). A menor concentração de matéria orgânica foi detectada em LD-6 (40,6%), por ser esse lodo rico em cloreto férrico. As amostras LD-1 e LD-10 apresentaram o maior conteúdo de carbono (27,0%). Os principais metais detectados na amostra de lodo LD-1 foram o ferro, zinco, manganês, chumbo, cobre, níquel e cromo. O ferro total apresentou a maior concentração (28911 mg/kg) e o níquel a menor delas (24 mg/kg). Todos os metais determinados no lodo LD-1 apresentaram concentrações inferiores aos valores limites estabelecidos para uso agrícola pela resolução brasileira. Os principais grupos funcionais detectados no lodo, através de FTIR, foram álcool, ácido carboxílico, amida, amina, fenol, silicato e hidrocarbonetos. Os lodos apresentam em sua constituição química, várias substâncias tais como ácidos nucleicos, proteínas, carboidratos, lipídios, substâncias húmicas e celulose. Esses compostos orgânicos apresentam um potencial energético muito elevado para serem tratados como simples resíduos. Esse potencial pode ser transformado de resíduo para matéria-prima, em processos térmicos de incineração e pirólise.

PALAVRAS-CHAVE: análise química, grupos funcionais, lodo de esgoto, metais pesados, minerais.

1. INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um resíduo semi-sólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica. A destinação deste resíduo é um grande problema ambiental para as empresas de saneamento, públicas ou privadas (Metcalf e Eddy, 2002). A gestão dos resíduos sólidos provenientes de estações de tratamento de esgotos é uma atividade de grande complexidade e alto custo, que, se for mal executada, pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas (Luduvic, 2001, Vieira *et al.*, 2011).

Alguns constituintes das águas residuárias tais como metais e ovos de helmintos, ao passarem pela estação de tratamento de esgoto, concentram-se no lodo. Vários componentes orgânicos (ácidos húmicos) e minerais (nitrogênio e fósforo) conferem características fertilizantes ao resíduo. Entretanto, outros constituintes são indesejáveis como os metais pesados, os poluentes orgânicos e os microrganismos patogênicos pelo seu risco sanitário e ambiental (Oliveira, 2000).

Os métodos mais comuns para a disposição final de lodos residuais são: (a) eliminação em aterros sanitários, (b) aplicação na agricultura e (c) incineração. Nenhum desses métodos está isento de inconvenientes. Os metais pesados presentes na constituição química do lodo inviabilizam seu emprego no cultivo de certas culturas agrícolas. O processo de incineração é relativamente caro e gera emissões para

ar, solo e água. A destinação em aterros sanitários é a forma mais comum para o lodo de esgoto das ETES brasileiras (Pedroza *et al.*, 2010), sendo que, o grande inconveniente dessa prática é a diminuição da vida útil dos aterros destinados à deposição dos outros resíduos sólidos urbanos.

Várias tecnologias estão sendo desenvolvidas e representam outras alternativas viáveis para o aproveitamento do lodo. Dentre essas alternativas, citam-se: a pirólise, a oxidação úmida e o processo de gaseificação. A pirólise tem muitas vantagens comparadas as outras alternativas. Os produtos gerados no processo pirolítico (óleos, gases e carvão) podem ser usados como fonte de combustíveis, bem como empregados à indústria petroquímica (Vieira *et al.*, 2011). O lodo de esgoto é constituído por uma grande variedade de grupos funcionais (ácido, álcool, amina, amida, nitrila, cetona, hidrocarbonetos). Essas estruturas orgânicas possuem potencial energético elevado e podem ser recuperadas em processos térmicos. Muitos autores recuperaram esses grupos funcionais no bio-óleo obtido da pirólise de lodo de esgotos (Leal, 2010; Fonts *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2009; Pokorna *et al.*, 2009).

Este trabalho teve como objetivo determinar as características químicas do lodo doméstico produzido em reator UASB da ETE Vila União, no estado do Tocantins, Brasil, segundo as técnicas analíticas gravimétricas (Umidade, Cinzas e Material Volátil) e instrumentais (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP – OES), Difractometria de Raio-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e Análise Elementar).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Estação de Tratamento de Esgotos Vila União, Palmas-TO

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) denominada Vila União, localizada no bairro Vila União, na cidade de Palmas (Tocantins), é de responsabilidade da Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins). O sistema de esgotamento é composto por rede coletora, tratamento preliminar, estação elevatória, reator UASB e Lagoa Facultativa (Figura 1). Essa estação tem a capacidade de tratar 110,0 L/s, mas atualmente trata uma vazão média de 30 L/s de esgotos. A alimentação do sistema é feita através de esgotos tipicamente domésticos.

O Reator UASB (Figura 2a) é constituído por uma câmara inferior de digestão e por um dispositivo superior para separação de gases, sólidos e líquidos. O processo consiste de um fluxo ascendente de esgotos através de uma manta de lodo densa e de elevada atividade que tem por objetivo reduzir a carga orgânica contida nos esgotos. Esse reator tem um volume de 3128 m³, altura de 7,8 metros e um diâmetro de 22,6 metros.

O Efluente do reator UASB é lançado numa lagoa facultativa (Figura 2b), que representa a última etapa do tratamento biológico da ETE Vila União. Essa lagoa tem 220 metros de comprimento, 110 metros de largura e 1,5 metros de profundidade. O efluente final da ETE é descartado através de uma única tubulação localizada na parte superior da lagoa e, é lançado no corpo receptor, o córrego Água Fria. O lodo biológico produzido no reator UASB é lançado em leitos de secagem que tem por finalidade reduzir o teor de umidade do lodo. A descarga desse lodo, feita diretamente do reator UASB, é realizada a cada mês em quantidade média que varia entre 33,6 e 50 m³ de lodo.

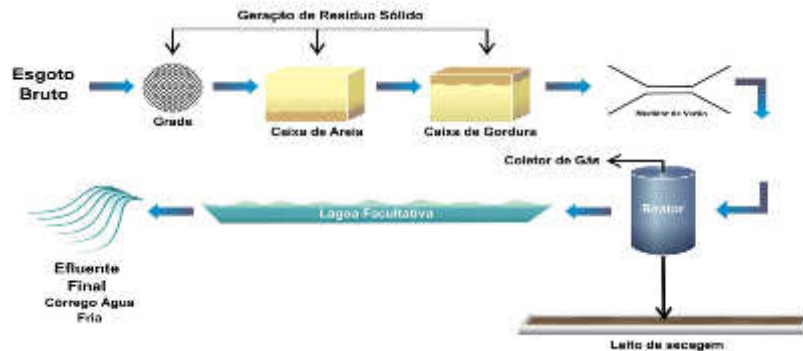


Figura 1 – Desenho esquemático da ETE Vila União, localizada em Palmas, Tocantins, Brasil

Coleta, preparo das amostras e procedimentos analíticos

As amostras foram coletadas em leitos de secagem da estação de tratamento de esgoto Vila União. Os lodos LD-1 e LD-10 são lodos tipicamente anaeróbios e a amostra LD-6 é um lodo misto, rico em cloreto férrico. Para a determinação de metais pesados, as amostras foram digeridas em água régia (HCl:HNO₃, 3:1, v/v), seguindo recomendações de Melo e Silva (2008). Os procedimentos analíticos usados na determinação das características químicas dos lodos residuais são apresentados na Tabela 1. O espectrômetro utilizado na análise de metais foi o ICP-OES, modelo ICAP 6000 da Thermo Scientific. O espectro de infravermelho foi obtido em Espectrofotômetro FTIR, Thermo Nicolet, modelo Nexus 470. O Analisador elementar usado no experimento foi o CE Instruments, Modelo EA 1110. O Difratorômetro de raios-X utilizado foi um modelo XRD-6000, Marca SHIMADZU. O MEV usado no experimento era da Marca Philips, Modelo XL30 – ESEM.

Tabela 1 – Métodos analíticos aplicados na caracterização química do lodo de esgoto

Variável analítica	Método analítico
Umidade	ASTM D 3173-85
Cinzas	ASTM D 2415-66
Material volátil	ISO 5623-74
Fe, Zn, Mn, Co, Ni, Cr, Pb	ICP-OES
C, N, H, S	Análise elementar

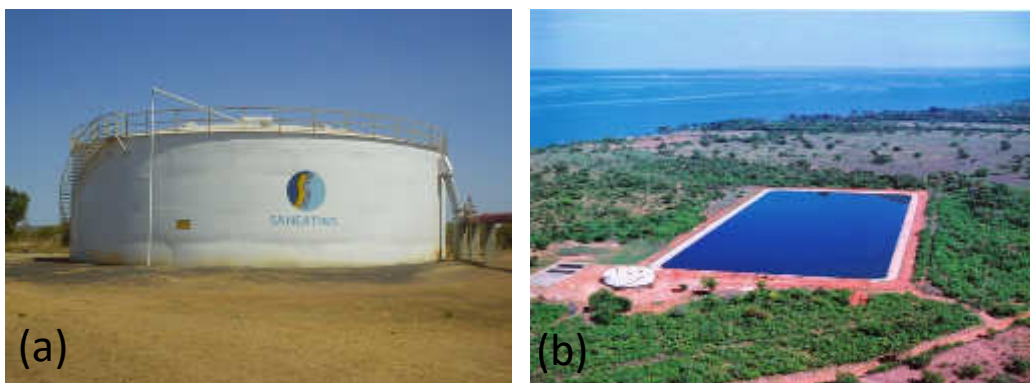


Figura 2 – ETE Vila União, estado do Tocantins, Brasil: (a) Reator UASB e (b) Lagoa Facultativa

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises Imediata e Elementar dos Lodos Residuais:

Os Lodos LD-1 e LD-6 apresentaram teores de umidade de 12,0 e 11,5%, respectivamente. Na amostra de LD-10 foi detectada a menor umidade (Tabela 2). O maior teor de cinzas foi observado na amostra LD-6 (46,2%), possivelmente devido a uma elevada quantidade de ferro advindo do tratamento físico-químico do lodo com cloreto férrico (FeCl_3). A análise de material volátil mostrou que a amostra LD-10 apresentou a maior concentração de matéria orgânica (57,8%). A menor concentração foi detectada em LD-6 (40,6%), por ser esse lodo rico em material inorgânico. As características orgânicas e inorgânicas das amostras foram também verificadas através da análise elementar (CNH) dos lodos. Os lodos LD-1 e LD-10 apresentaram maior conteúdo de carbono, 27,0%. Na amostra LD-6, foi percebido o menor teor, 15,0% (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultados das análises Gravimétricas e Elementar das amostras de lodos de esgotos

Método Analítico	Lodos		
	LD-1	LD-6	LD-10
Umidade (%)	12,0	11,5	6,7
Cinzas (%)	32,2	46,2	31,8
Material Volátil (%)	53,9	40,6	57,8
Carbono Fixo (%)	1,9	1,8	3,7
Carbono (%)	27,0	15,0	27,0
Hidrogênio (%)	4,4	3,6	3,7
Nitrogênio (%)	3,6	2,7	2,7
Enxofre (%)	2,7	5,3	3,1

Determinação de Metais na amostra de Lodo LD-1

Do ponto de vista ambiental, o metal pesado pode ser entendido como aquele que, em determinados teores e tempo de exposição, oferece risco sanitário, comprometendo a atividade biológica dos seres vivos. Os metais pesados possuem efeito cumulativo no organismo e podem provocar, desta forma, intoxicações crônicas, cânceres, problemas cardíacos e respiratórios e alergias. Os principais metais pesados detectados na amostra de lodo LD-1 foram o Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Cobre (Co), Níquel (Ni) e Cromo (Cr). O ferro total apresentou a maior concentração (28911 mg/kg) e o níquel a menor delas (24 mg/kg), conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Determinação Quantitativa de alguns metais de amostra de Lodo LD-1, de Reator UASB, usando Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP – OES)

Parâmetro Analisado	Resultado (mg/kg)	Resolução CONAMA 375 (mg/kg) (Brasil, 2006)
Ferro total	28911	-
Zinco	892	2800
Manganês	82	-
Chumbo	47	300
Cobre	219	1500
Níquel	24	420
Cromo total	39	1000

Com relação ao tratamento térmico de lodo residual, alguns pesquisadores observaram que o conteúdo de metais pode atuar nas reações catalíticas durante o processo de pirólise, facilitando a degradação térmica do resíduo. Fonts *et al.*, (2009) determinaram que o teor de metais da biomassa favoreceu um aumento do rendimento da fração gasosa e a diminuição do percentual da fração líquida. Domínguez, Menéndez e Pis (2006) observaram que a produção de H₂ era maior quando foi empregado um lodo com maior teor de metais.

Análise de Minerais e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos Lodos Residuais

Foram determinados os principais minerais presentes nas amostras do lodo residual LD-1, através da técnica Difractometria de Raio-X (DRX). O difratograma, apresenta picos característicos de fase cristalina, dos seguintes minerais: caulinita, quartzo, gibsita, albita, magnetita, dolomita e rutilo.

Análise de FTIR do Lodo LD-1

A banda larga na região de 3600 - 3200 cm⁻¹ é causada pelas vibrações de estiramento dos grupos O - H (Água, álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos) e N - H (aminas e amidas). A frequência de alongamento de álcoois e fenóis é cerca de 3600 cm⁻¹, de amidas primárias e aminas em torno de 3500 e 3400 cm⁻¹, e de amidas secundárias em torno de 3350 cm⁻¹. Os dois picos ao redor 3.000 cm⁻¹ são típicos da deformação axial de C - H de estruturas alifáticas (2980 - 2920 cm⁻¹).

Uma banda de menor intensidade, cerca de 2300 cm⁻¹, pode estar associada com a vibração de estiramento do grupo funcional nitrila (Figura 3). Fonts *et al.*, (2009) também observaram o grupo das nitrilas em torno de 2300 cm⁻¹ quando analisaram lodo de esgoto e, segundo os autores, os compostos de nitrogênio são comuns nesse tipo de resíduo. Pokorna *et al.*, (2009) estudaram a composição elementar do lodo de esgoto e obtiveram teores de nitrogênio de 3,5% para lodo digerido e 7,9% para lodo aeróbio do sistema de lodos ativados. Barneto *et al.*, (2009) encontraram 4,91% de nitrogênio em lodo de esgoto fresco.

Entre 1700 e 1400 cm⁻¹, aparecem três picos claros que são causados por diferentes grupos funcionais. O primeiro pico (1647 cm⁻¹) se situou em torno da frequência de alongamento do grupo carbonila de amidas (CONH, 1650 - 1550 cm⁻¹). Segundo Silverstein *et al.*, (2007), no estado sólido, as amidas secundárias simples de cadeia aberta absorvem em 1640 cm⁻¹, e a frequência da carbonila das amidas terciárias não depende do estado físico da amostra, e a absorção desse grupo se situa entre 1680 e 1630 cm⁻¹. De acordo com Fonts *et al.*, (2009) o grupo funcional das amidas pode estar presente no lodo de esgoto, sendo o mesmo proveniente do processo de desnaturação das proteínas dos microrganismos. Esse pico de 1647 cm⁻¹ também pode estar associado a dupla ligação de alcenos (1675 - 1645 cm⁻¹) bem como a compostos aromáticos (1600-1500 cm⁻¹). O segundo de 1550 cm⁻¹ também pode ser característico de grupamento aromático. O terceiro pico dessa região do espectro, situado entre 1300 e 1500 cm⁻¹ poderia ser atribuído aos grupos CH₂ e CH₃. Este grupo CH₂ pode ser encontrado, por exemplo, em hidrocarbonetos e celulose, que são componentes típicos de lodos de esgotos.

Em torno de 1250 cm⁻¹, existe um pequeno pico, que pode ser devido ao efeito do acoplamento da deformação angular no plano da ligação O - H e a deformação C - O, presentes em ácidos carboxílicos. Na região de impressão digital, existem duas bandas entre 1150 e 1000 cm⁻¹. Parece que a contribuição mais importante para este pico seria a do grupo de silicatos (1080 cm). A última parte da região de impressão digital (900 cm⁻¹) é menos representativa para a identificação de grupos funcionais, mas sabe-se que poderia representar estruturas cicloalifáticas, estruturas aromáticas e alguns derivados halogenados e os compostos contendo fósforo. Segundo Silverstein *et al.*, (2007) o espectro observado nessa região é, com frequência, complexo, com as bandas se originando de modos de vibração acoplados. Essa parte do espectro é muito importante para a determinação da estrutura do composto quando examinada com referência a outras regiões.

O lodo de esgoto é constituído principalmente de componentes de microrganismos, principalmente bactérias (ácidos nucleicos, proteínas, carboidratos e lipídios), substâncias húmicas formadas durante a decomposição bacteriana, material orgânico não digerido (celulose) e material inorgânico. Zhang *et al.*, (2011) determinaram os seguintes grupos funcionais em amostras de lodo de esgoto anaeróbio: hidrocarbonetos alifáticos, ácidos carboxílicos, amidas, aminas, aromáticos e outros compostos orgânicos com halogênios, silício e fósforo.

Gascó *et al.*, (2005) estudaram o teor das substâncias húmicas em diferentes amostras de lodos de esgotos e encontraram concentrações que variaram entre 2,8 e 14,4%. As maiores concentrações foram observadas nas amostras digeridas, e isso, pode ser atribuída ao processo de decomposição de microrganismos durante a sua mineralização.

Brum (2005) relata que as substâncias húmicas são muito importantes para a fertilidade dos solos, e não têm caráter tóxico, apesar de apresentarem uma estrutura complexa com elevado teor de aromáticos e muitos grupamentos carboxílicos. Canellas *et al.*, (2000) verificaram a presença do grupo carboxílico em lodo de esgoto e relata valor de 445 cmol/kg. Segundo os autores esse grupo funcional faz parte da estrutura molecular dos ácidos húmicos encontrados abundantemente no resíduo.

A pirólise é uma prática que pode ser empregada para o aproveitamento do lodo de esgoto como biomassa. Nesse processo térmico, são gerados produtos com valores agregados, tais como bio-óleo, gases e carvão (Pedroza *et al.*, 2010). Os grupos funcionais orgânicos do lodo são recuperados, na sua maioria, no líquido de pirólise (bio-óleo). O bio-óleo é constituído de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, juntamente com mais de 200 compostos identificados e tem um alto valor energético. Segundo Sánchez *et al.*, (2009), os compostos do bio-óleo podem ser agrupados nas seguintes classes: n-alcanos e 1-alcenos; hidrocarbonetos monoaromáticos, compostos aromáticos contendo nitrogênio e oxigênio; nitrilas alifáticas e aromáticas; ácidos carboxílicos; longas amidas de cadeia alifática e esteróides.

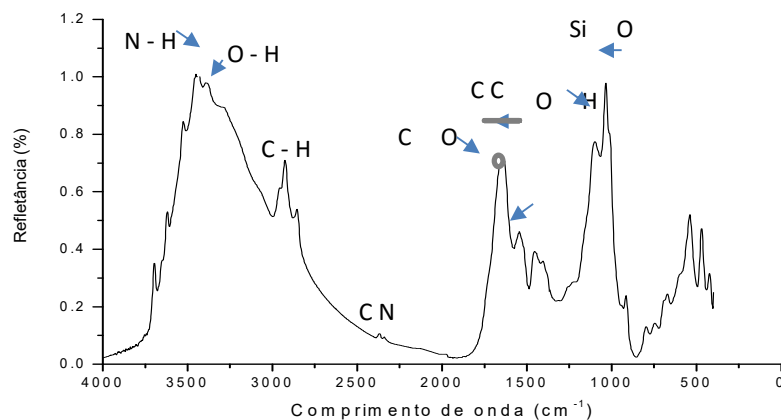


Figura 3– Espectro de FTIR de lodo de esgoto doméstico, de Palmas, Tocantins, Brasil

4. CONCLUSÕES

O lodo de esgoto estritamente doméstico possui geralmente baixas concentrações de metais tóxicos, mas quando esgotos industriais entram em contato com rede coletora de esgoto doméstico, este

pode ter sua concentração de metais aumentada significativamente. Altas concentrações de metais em lodos resultam em ações mais restritivas quanto ao uso desse material para fins agrícolas.

Dentre os processos mais comuns de disposição de lodo de esgoto citam-se: *landfilling*, reuso agrícola, aterro sanitário e incineração. Todavia, esses processos convencionais de disposição apresentam certas limitações. *Landfilling* ocupa uma extensa área e talvez seja a grande desvantagem desse sistema. A reciclagem agrícola de biossólidos pode resultar no acúmulo de compostos nocivos, tais como metais pesados, no solo.

O tratamento térmico por pirólise é uma alternativa ambientalmente correta a ser empregada no reaproveitamento de lodo de esgoto. As frações, líquida e gasosa, obtidas durante o processo apresentam elevados poderes caloríficos que podem ser reaproveitados no próprio processo pirolítico. O resíduo sólido gerado durante o processo também pode ser reaproveitado na construção civil.

5. REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C. V., TAMANIN, C. R., HOLSBACH, B., PEGORINI, E. S., NEVES, P. S. (2006) Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal, In: *Biossólidos - Alternativas de uso de resíduos do saneamento*, Editora ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), Rio de Janeiro, 398 p.

BARNETO, A. G., CARMONA, J. A., ALFONSO, J. E., BLANCO, J. (2009) Kinetic models based in biomass components for the combustion and pyrolysis of sewage sludge and its compost, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **86**, 108 – 114.

BRASIL (2006) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. *Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: set. 2011.

BRUM, M. C. (2005) Remoção de ácido húmico da água por precipitação e flotação com a utilização de surfactantes catiônicos, *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 61p.

CANELLAS, L. P., Santos, G. A., Moraes, A. A., Rumjanek, V. M., Olivares, F. L. (2000) Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos de origem urbana: Métodos espectroscópicos (UV-VIS, IV, RMN) e microscopia eletrônica de Varredura, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **24**, 741-750.

CEBALLOS, B. S. O. (2004) Avaliação sanitária de efluente e da alfaca irrigada com esgotos tratados, *XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

CORREA, R.S. (2004) Efficiency of five biosolids to supply nitrogen and phosphorus to ryegrass, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, **39**, 1133 – 1139.

DOMINGUEZ, A., MENENDEZ, J. A., INGUANZO, M., PIS, J. J. Investigation into the characteristics of oils produced from microwave pyrolysis of sewage sludge. *Fuel Process Technol*, **86**, p.1007–1020, 2005.



FONTS, I., KUOPPALA, E., OASMAA, A. Physicochemical properties of product liquid from pyrolysis of sewage sludge. **Energy & Fuels**, 23, p.4121–4128, 2009.

GASCÓ, G., MÉNDEZ, A., GASCÓ J. M. Preparation of carbon- based adsorbents from sewage sludge pyrolysis to remove metals from water. **Desalination**, 180, p.245-251, 2005.

LEAL, E. R. M. **Aplicação do processo de pirólise lenta ao lodo de esgoto adicionado de óxido de cálcio e ferro para obtenção de bioóleo combustível**. 2010. 110p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2010.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: **Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final**. Rio de Janeiro, ABES, 2001. 484p.

MELO, L. C. A., SILVA, C. A. Influência de métodos de digestão e massa de amostra na recuperação de nutrientes em resíduos orgânicos. **Química Nova**, Vol. 31, No. 3, p.556-561, 2008.

METCALF & EDDY, INC. Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse. New York, Ed. McGraw-Hill, 2002. 1334p.

OLIVEIRA, F. C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. 247p. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., PICKLER, A. C., LEAL, E. R. M., MILHOMEN, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, 11, p.147-157, 2010.

POKORNA, E., POSTELMANS, N., JENICEK, P., SCHREURS, S., CARLEER, R., YPERMAN, J. Study of bio-oils and solids from flash pyrolysis of sewage sludges. **Fuel**, 88, p.1344-1350, 2009.

SANCHEZ, M. E., MENÉNDEZ, J. A., DOMÍNGUEZ, A., PIS, J. J., MARTÍNEZ, O., CALVO, L. F., BERNAD, P. L. Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge. **Biomass and Bioenergy**, 33, p.933-940, 2009.

VIEIRA, G. E. G., ROMEIRO, G. A., SELLA, S. M., DAMASCENO, R. N., PEREIRA, R. G. Low temperature conversion (LTC) – An alternative method to treat sludge generated in an industrial wastewater treatment station – Batch and continuous process comparison. **Bioresource Technology**, 100, p.1544–1547, 2009.

VIEIRA, G. E. G., PEDROZA, M. M., SOUSA, J. F., PEDROZA, C. M. O Processo de Pirólise como Alternativa para o Aproveitamento do Potencial Energético de Lodo de Esgoto – Uma Revisão. **Revista Liberato**, 12, p.81 – 95, 2011.

ZHANG, B., XIONG, S., XIAO, B., YU, D., JIA, X. Mechanism of wet sewage sludge pyrolysis in a tubular Furnace. **International Journal oh Hydrogen Energy**, 36, p.355 – 363, 2011.