

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## PIRÓLISE DE LODO DE ESGOTO EM CILINDRO ROTATIVO PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

\*Marcelo Mendes Pedroza<sup>1</sup>  
Argemiro Lima Pedrosa<sup>2</sup>  
Elaine Cunha da Silva Paz<sup>1</sup>  
Gláucia Eliza Gomes Vieira<sup>3</sup>  
João Fernandes de Souza<sup>4</sup>

SEWAGE SLUDGE PYROLYSIS USING ROTATING  
CYLINDER TO PRODUCTION OF BIOFUELS

Recibido el 22 de julio de 2016; Aceptado el 22 de mayo de 2017

### Abstract

*The aim of this work was to produce, from pyrolysis of sewage sludge, biofuels targeting industrial application. The sludge used in this study was produced in the UASB. The tests were performed in a thermal reactor rotating cylinder with a capacity to process up to 2 kg of biomass / h. The reactor was operated at temperatures of 450, 500, 550 and 600 °C. Increasing the temperature from 450 to 600 °C favor the increase of gaseous fraction and the decrease of fractions solid and liquid. The highest yield of biochar was 62.3 %, obtained 450 °C. The maximum yield of bio-oil was approximately 10.8 %. The higher gas content was 22 %. The bio-oil had the following characteristics: pH 6.2, density between 1.0 and 1.1 g/mL, viscosity between 2.6 and 3.2 cSt and highest heating value between 17.0 and 18.0 MJ/kg.*

**Key Words:** biomass, UASB, biochar, bio-oil, industry.

<sup>1</sup> Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Campus Palmas Porto Nacional, Brasil.

<sup>2</sup> Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Campus Porto Nacional, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil.

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Brasil.

\*Autor correspondente: Instituto Federal do Tocantins (IFTO) – Campus Palmas Porto Nacional. 306 Sul, Alameda. 03, Lote 15. Palmas-TO. Email: [mendes@ifto.edu.br](mailto:mendes@ifto.edu.br)

## Resumo

O objetivo deste trabalho foi produzir, a partir da pirólise do lodo de esgoto, biocombustíveis visando aplicação industrial. O lodo utilizado nessa pesquisa foi produzido em reator UASB. Os ensaios térmicos foram realizados em um reator de cilindro rotativo, com capacidade de processar até 2 Kg biomassa/h. O reator foi operado nas temperaturas de 450, 500, 550 e 600 °C. O aumento da temperatura de 450 para 600 °C favoreceu o aumento da fração gasosa e a diminuição das frações sólida e líquida. O maior rendimento de carvão foi de 62.3%, obtido a 450 °C. O rendimento máximo em bio-óleo foi da ordem de 10.8%. O maior conteúdo de gases foi de 22 %. O bio-óleo apresentou as seguintes características: pH 6.2, densidade entre 1.0 e 1.1 g/mL, viscosidade entre 2.6 e 3.2 cSt e poder calorífico superior entre 17.0 e 18.0 MJ/kg.

**Palavras-chave:** biomassa, UASB, carvão, bio-óleo, indústria.

## Introdução

O lodo doméstico é uma mistura heterogênea complexa de materiais orgânicos e inorgânicos (Metcalf e Eddy, 2002). Os sólidos do lodo normalmente contêm 60-80% de matéria orgânica. Os materiais orgânicos deste resíduo são compostos de 20-30% de proteína bruta, 6-35% de gorduras e 8-15% de carboidratos (Eckenfelder, 2000).

Apesar do lodo de esgoto conter vários materiais valiosos, muitas vezes é descartado como um resíduo indesejável e de valor inestimável. Várias tecnologias estão sendo desenvolvidas e representam alternativas viáveis para o aproveitamento do lodo residual. Dentre essas alternativas, citam-se: a pirólise, a oxidação úmida e o processo de gaseificação (Pedroza *et al.*, 2011).

A pirólise é um processo de degradação térmica que consiste em aquecer a biomassa (normalmente entre 300°C e 600°C), na “quase-ausência” de ar, com a formação de vapores, que ao serem resfriados produzem um líquido que é normalmente indicado como bio-óleo, finos de carvão e gases pirolíticos não condensáveis, que podem ser usados para gerar calor e energia para o processo em si, ou para o mercado local (Pedroza, 2011).

O emprego do lodo residual em processo térmico contribui para a diversificação do plano energético brasileiro. O bio-óleo advindo do processo possui em sua constituição química hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos aromáticos, ácidos graxos, nitrilas aromáticas e esteróides (Pedroza *et al.*, 2014). Esse líquido apresenta alto poder calorífico e ausência de compostos sulfurados, o que aponta para a possibilidade de aplicação deste produto como biocombustível. O bio-óleo pode ser utilizado em substituição do óleo diesel em caldeiras, ligantes na fabricação de briquetes siderúrgicos, emulsões para asfalto, aditivos de gasolina e óleo– diésel (Qiang,; Xu-lai; Xi-feng, 2008).

A fração gasosa obtida através da pirólise do lodo residual possui alto poder calorífico e é composta por hidrocarbonetos de até 6 carbonos, hidrogênio, CO e CO<sub>2</sub>. O gás de síntese (CO e H<sub>2</sub>) é representativo na mistura e pode ser empregado em processos químicos (síntese do metanol, da amônia e reações do Tipo Fischer-Tropsch para obtenção de gasolina ou mesmo diesel). A fase gasosa pode ser utilizada como fonte de aquecimento em fornos, caldeiras, fornos de cal, fornos cerâmicos, turbinas a gás, geradores de vapor, etc.

O carvão também pode ser empregado na remoção de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas de efluentes, substituindo o carvão ativado comercial. Além disso, podem ser utilizados em caldeiras e fornos tubulares, fornos comerciais (pizzaria, padaria, etc) e uso doméstico (Vieira *et al.*, 2009).

Esse trabalho teve como objetivo produzir, a partir da pirólise do lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo, biocombustíveis visando aplicação industrial.

## Materiais e Métodos

### Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos da Vila União, em Palmas, Tocantins

O lodo residual, biomassa empregada nos experimentos de pirólise, foi fornecido pela Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins), sendo produzido na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Vila União, localizada no bairro Vila União, na cidade de Palmas (Tocantins). O sistema de esgotamento da ETE é composto por rede coletora, tratamento preliminar, estação elevatória, reator UASB e Lagoa Facultativa (Figura 1).

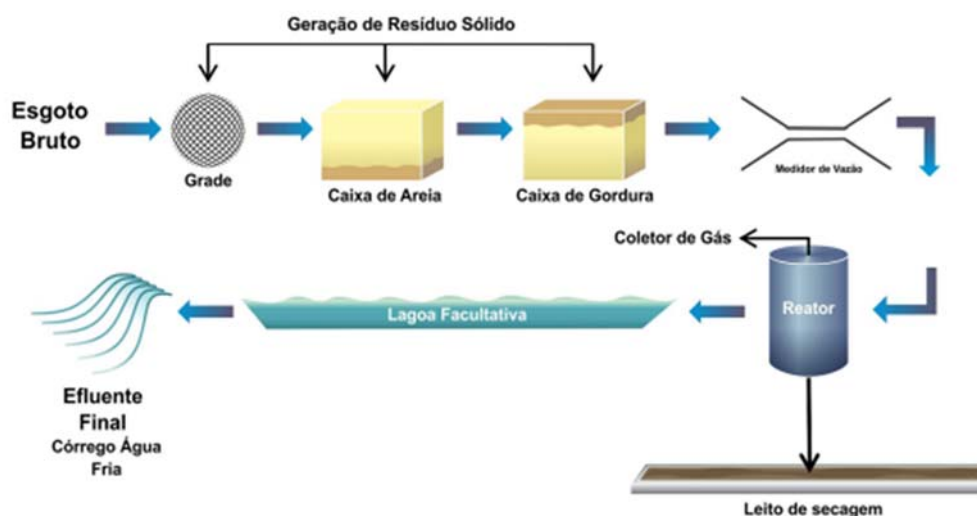
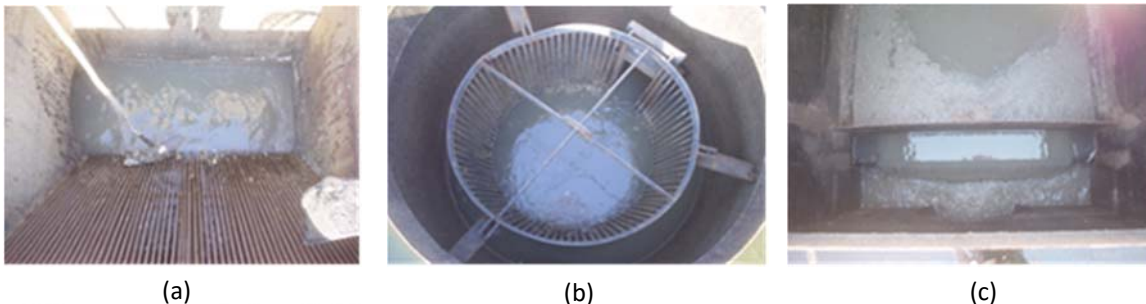


Figura 1. Desenho esquemático da ETE Vila União

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 tratamento preliminar é composto de grades, caixas de areia e caixas de gorduras. Esse tipo de tratamento destina-se principalmente à remoção de sólidos grosseiros, gorduras e areia, com mecanismos básicos de ordem física. No gradeamento (Figura 2a) ficam retidos os materiais sólidos de maiores dimensões tais como: latas, preservativos, garrafas plásticas, sacos, panos, papelão, etc.

A remoção da areia contida nos esgotos é feita através de unidades especiais denominadas desarenadores (Figura 2b). O mecanismo de remoção de areia é simplesmente o de sedimentação: os grãos de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, se depositam no fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica presente no esgoto, sendo de sedimentação mais lenta, permanece em suspensão, seguindo para o tratamento biológico da ETE.

A última etapa do tratamento preliminar é feita através de caixa de gordura (Figura 2c). Nesse processo, a gordura por apresentar menor densidade que o esgoto, fica retida na parte superior da caixa, e, então recolhida manualmente para seu tratamento e disposição final.



**Figura 2.** Tratamento preliminar da ETE: gradeamento (a), (b) caixa de areia e (c) caixa de gordura da ETE

O Tratamento Secundário (ou biológico) tem como objetivo a remoção da matéria orgânica, sendo esta *dissolvida* (DBO solúvel) ou em *suspensão* (DBO suspensa), através de reações bioquímicas, realizadas por microrganismos. Na ETE Vila União, o tratamento biológico é híbrido, envolvendo dois sistemas de tratamento, um Reator UASB seguido de Lagoa Facultativa.

O Reator UASB (Figura 3a) 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. Nesse processo de estabilização da matéria orgânica

em ambiente anaeróbico, ocorre a formação contínua do biogás, que na ETE é queimado a todo instante. O volume do reator é de  $3128 \text{ m}^3$ , altura de 7.8 metros e um diâmetro de 22.6 metros.

O Efluente do reator UASB é lançado numa lagoa facultativa (Figura 3b), que representava a última etapa do tratamento biológico da ETE. Essa lagoa tem 220 metros de comprimento, 110 metros de largura e 1.5 metros de profundidade. A entrada de esgoto nessa lagoa é realizada através de três pontos, localizados na sua parte superior. O tratamento biológico na lagoa facultativa ocorre através da simbiose entre algas e bactérias. 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.

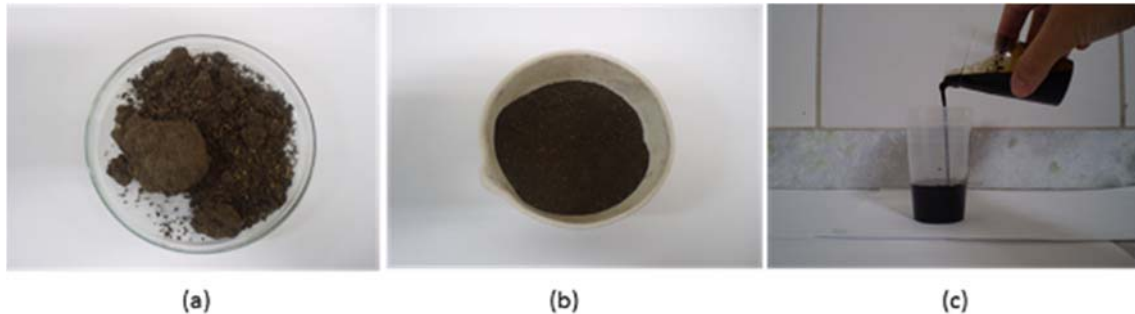
Os resíduos sólidos gerados no tratamento preliminar são tratados com cal e dispostos em valas localizadas na área da própria estação. O lodo biológico produzido no reator UASB é lançado em leitos de secagem (Figura 3c), cuja finalidade é reduzir o teor de umidade do lodo. A descarga desse lodo, feita diretamente do reator UASB, é realizada a cada mês numa quantidade média que varia entre  $33.6$  e  $50 \text{ m}^3$  de lodo.



**Figura 3.** Tratamento Biológico da ETE: (a) Reator UASB, (b) lagoa facultativa e (c) leitos de secagem.

O lodo residual empregado nessa pesquisa passou por processo de secagem em centrífuga e moído mecanicamente num moinho de bolas e peneirado através de uma peneira com aberturas de malha de  $0.59 \text{ mm}$  para garantir a homogeneidade da amostra e para facilitar os procedimentos de análise (Figura 4).

Para a caracterização dos teores de umidade, cinzas e material volátil foram empregadas técnicas gravimétricas clássicas. O teor de metais foi determinado através da técnica ICP-OES. O poder calorífico superior foi determinado em bomba calorimétrica Parr 1341.



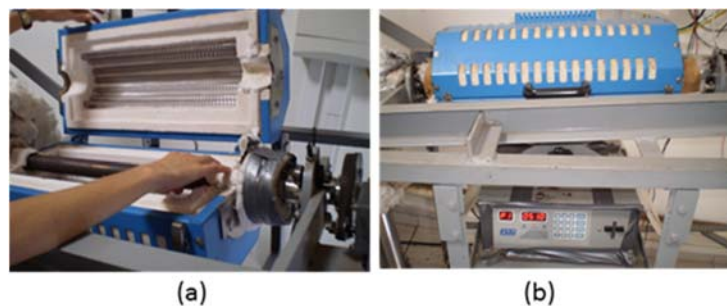
**Figura 4.** Lodo anaeróbico de reator UASB: (a) lodo bruto, (b) lodo pulverizado e (c) bio-óleo obtido do processo de pirólise

### Reator de Pirólise

A unidade pirolítica é constituída das seguintes partes: (a) sistema de alimentação de biomassa, (b) reator de cilindro rotativo com sistema de aquecimento, (c) sistema de separação de sólidos, (d) lavador de gases e (e) sistema de condensação do bio-óleo.

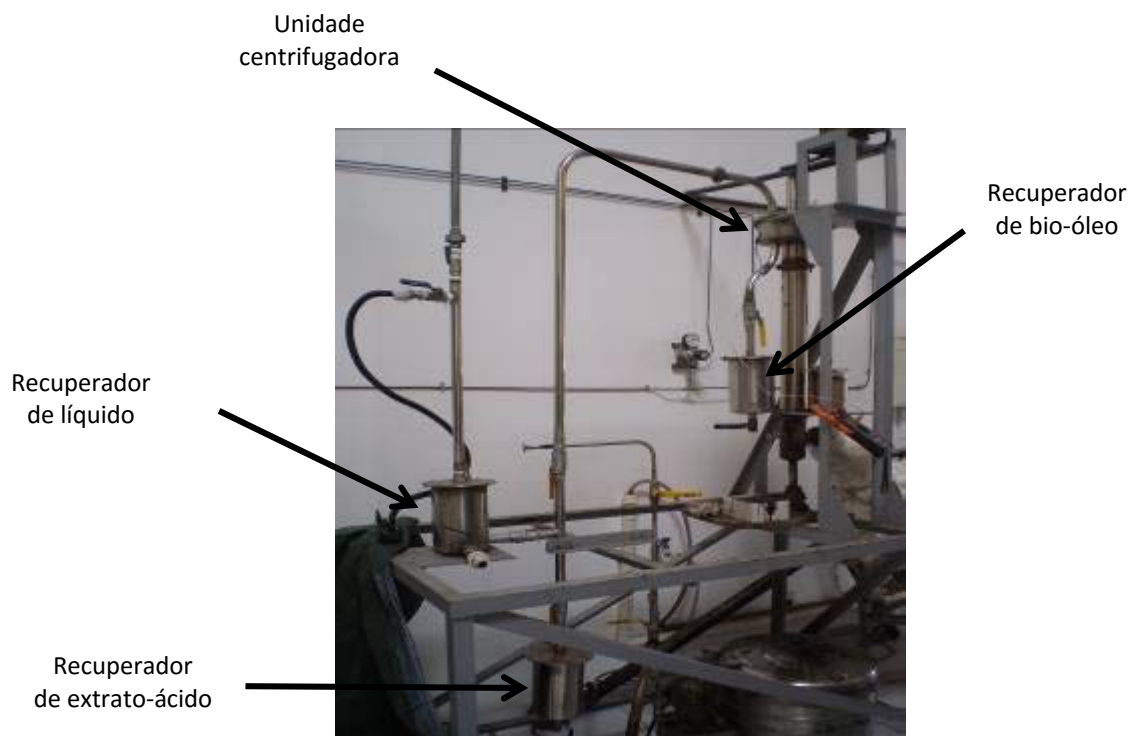
A planta pirolítica, em escala de laboratório, foi constituída de um reator de cilindro rotativo cujo comprimento é 100 cm, com capacidade de processar até 2 kg biomassa/h (Figura 5).

O reator foi operado nas temperaturas de 450, 500, 550 e 600 °C, valores comumente adotados por outros pesquisadores para a pirólise de lodo de esgoto.



**Figura 5.** Sistema de pirólise: (a) reator de cilindro rotativo e (b) forno utilizado no sistema de aquecimento do reator

O material sólido produzido durante a pirólise (carvão) foi recuperado em separadores de sólidos situados a jusante do reator. O bio-óleo foi coletado, após a unidade de centrifugação, em três recuperadores de líquidos (Figura 6). A fração aquosa foi separada do bio-óleo em funil de separação, utilizando-se diclorometano (Figura 7). A fração gasosa do processo foi coletada em colchão inflável e pesada.



**Figura 6.** Condensação e recuperação de líquidos pirolíticos



**Figura 7.** Separação da fração aquosa do bio-óleo em diclorometano

## Resultados e Discussão

### Caracterização do Lodo de Esgoto

Os teores de umidade, cinzas e material volátil do lodo residual foram de 12.00, 38.1 e 53.9%, respectivamente.

O ferro foi o metal encontrado em maior quantidade (28911 mg/kg). Também foram identificados os seguintes metais no lodo: Zinco (891 mg/kg), Cobre (219 mg/kg), Manganês (82 mg/kg) e Chumbo (47 mg/kg).

O lodo apresentou poder calorífico superior de 21.07 MJ/kg e teor de carbono igual a 26.97%.

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise quantitativa dos metais encontrados no lodo de esgoto produzido na cidade de Palmas, Tocantins. O ferro foi o metal encontrado em maior quantidade (28911 mg/kg).

**Tabela 1.** Determinação Quantitativa de alguns metais de amostra de Lodo LD-1, de Reator UASB, usando Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado

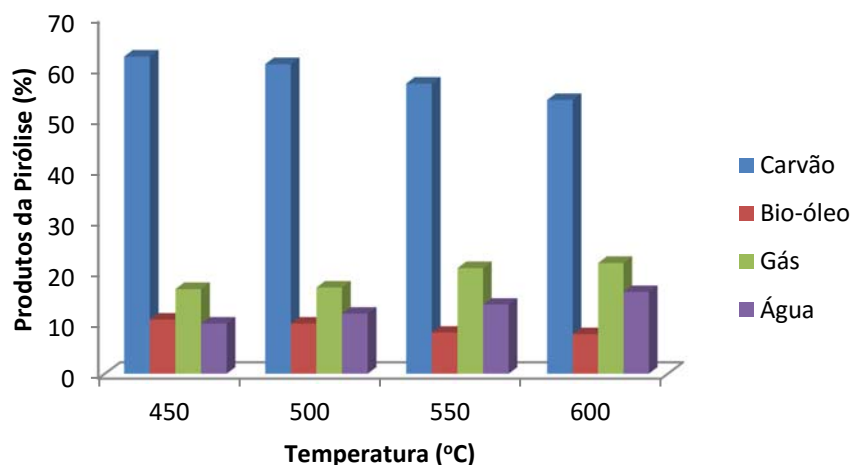
Parâmetro Analisado	Lodo dessa pesquisa (mg/kg)	Outros autores (mg/kg)	
Ferro total	28911	34954 Oliveira (2000) <sup>(1)</sup>	-
Zinco	891	683 Oliveira (2000)	470 Hossain <i>et al.</i> , (2009) <sup>(2)</sup>
Cádmio	não determinado	4 Oliveira (2000)	0,9 Hossain <i>et al.</i> , (2009)
Manganês	82	54 Oliveira (2000)	480 Hossain <i>et al.</i> , (2009)
Chumbo	47	119 Oliveira (2000)	35 Hossain <i>et al.</i> , (2009)
Cobre	219	379 Oliveira (2000)	370 Hossain <i>et al.</i> , (2009)
Níquel	24.2	-	34 Hossain <i>et al.</i> , (2009)
Cromo total	39	545 Oliveira (2000)	79 Hossain <i>et al.</i> , (2009)

<sup>(1)</sup> mistura de lodo aeróbio e lix; <sup>(2)</sup> lodo anaeróbio digerido



Os dados obtidos por Oliveira (2000) para os metais ferro e cromo total, chumbo e cobre foram superiores aos obtidos durante essa pesquisa, e isso é devido ao fato de que a concentração total de metais no lodo de esgoto depende muito do tipo de processo (aeróbio e anaeróbio) empregado para a estabilização da matéria orgânica (Pires e Andrade, 2006).

Os dados experimentais mostram que, o aumento da temperatura de 450 para 600 °C favoreceu o aumento da fração gasosa e a diminuição das frações sólida e líquida (Figura 8). É importante ressaltar que temperaturas abaixo de 450 °C não favorecem a produção de bio-óleo, induzindo apenas a geração da fração sólida (carvão).



**Figura 8.** Rendimentos das frações obtidas durante a pirólise de lodo de esgoto doméstico

O maior rendimento de carvão foi de 62.3%, sendo esse experimento operado 450°C e o menor rendimento (53.8%) foi obtido à 600 °C.

A redução no rendimento de sólidos com o aumento da temperatura pode ser atribuído à devolatilização dos compostos orgânicos sólidos (hidrocarbonetos, ácidos húmicos, proteínas) e gaseificação parcial de resíduos carbonosos no carvão em altas temperaturas. A devolatilização é o primeiro passo para a produção do carvão por processos térmicos.

A fração líquida sofreu uma menor redução quando comparada com a fração sólida. O craqueamento secundário do alcatrão provavelmente ocasionado pela dolomita presente no lodo do esgoto e que intensificado a altas temperaturas pode ter influenciado na diminuição da quantidade de líquidos pirolíticos, induzindo assim para obtenção de um maior percentual da fração gasosa.

O rendimento máximo em bio-óleo foi da ordem de 10.8%, obtido a 450 °C. Foi observado, na temperatura de 600 °C, o menor rendimento líquido (7.9 %). O maior conteúdo de gases foi de 22 % e foi determinado na temperatura do reator de 600 °C.

#### Caracterização Química dos Líquidos de Pirólise

Durante os experimentos de pirólise do lodo foram obtidos dois líquidos. Um de coloração amarelada e odor forte (extrato ácido) obtido no segundo reservatório de recuperação de líquidos e o segundo deles de coloração escura e viscoso (bio-óleo), recuperado no primeiro reservatório localizado na parte superior logo após o topo da coluna lavadora.

#### Reologia e análise elementar do bio-óleo

Os resultados da viscosidade, densidade, pH, poder calorífico superior e análise elementar do bio-óleo obtido a partir da pirólise de lodo de esgoto em reator do tipo cilindro rotativo são mostrados na (Tabela 2.)

**Tabela 2.** Caracterização do bio-óleo obtido da pirólise de lodo de esgoto

Método Analítico	Bio-óleos Pirolíticos dessa pesquisa		
	LQ 1	LQ 2	LQ 3
pH (-)	6.2	5.1	6.9
Densidade (g/mL)	1.1	1.1	1.0
Viscosidade a 20 °C (cSt)	2.6	3.0	3.2
Poder calorífico(MJ/kg)	17.1	17.0	18.0
Teor de sólidos (%)	0.8	0.9	0.9

LQ-1 – bio-óleo obtido a 500 °C, 50 mL/min de inerte, centrifugação de 20 Hz, cilindro rotativo

LQ-2 – bio-óleo obtido a 550 °C, 100 mL/min de inerte, centrifugação de 26 Hz, cilindro rotativo

LQ-3 – bio-óleo obtido a 600 °C, 100 mL/min de inerte, centrifugação de 23 Hz, cilindro rotativo

O pH das amostras de bio-óleo obtidas nessa pesquisa se situou em torno da neutralidade (6.9 para a amostra LQ-3). Fontes *et al.*, (2009) obtiveram bio-óleos de lodos de esgotos com pH em torno de 8. Dominguez *et al.*, (2005) que estudaram a pirólise do lodo de esgoto úmido em altas temperaturas para a obtenção de hidrogênio, determinou que o pH da fase aquosa do alcatrão foi de 9 e o do bio-óleo próximo da neutralidade.

A densidade do bio-óleo obtido do lodo residual variou entre 1,0 e 1.1 g/mL. Segundo Oasmaa e Peacocke (2001), a densidade de bio-óleos está relacionada com o conteúdo de água presente no líquido. O autor reporta valores de densidade de 1.2 – 1.3 g/mL. A viscosidade de um combustível líquido desempenha um papel importante no projeto e operação do sistema de injeção de combustível, bem como sobre a qualidade da atomização e sua combustão (Qiang; Xu-lai; Xi-feng, 2008).

Os valores de viscosidade dos bio-óleos obtidos nessa pesquisa se situaram entre 2.6 e 3.2 cSt, resultados esses bem inferiores aos apresentados por Fonts, Kuoppala e Oasmaa (2009) (17 cSt). Fonts *et al.*, (2009) reportam valores de viscosidade em bio-óleo de lodo de esgoto de  $7.92 \pm 3.04$  cSt. Os baixos valores de viscosidade das amostras de bio-óleo obtidas nessa pesquisa podem estar associados à presença de água no líquido, como também ao curto período de tempo entre coleta e análise do bio-óleo.

Almeida (2008) informa que os principais problemas do uso de bio-óleo como combustível são a baixa volatilidade, a alta viscosidade, formação de coque e corrosividade. Esses problemas limitam o uso de bio-óleo a aplicações estáticas. Para queima em motores a diesel as principais dificuldades são a difícil ignição, formação de coque e corrosividade. O bio-óleo tem sido usado com sucesso em caldeiras e tem mostrado potencial para uso em motores a diesel e turbinas (Czernick e Bridgwater, 2004). As experiências relevantes no uso de bio-óleo para geração de eletricidade foram recentemente relatadas por Chiaramonti *et al.*, (2007). Apesar de não existirem ainda normas e especificações definidas para o bio-óleo, Oasmaa e Meier (2005) propuseram especificações do produto para as referidas aplicações.

O poder calorífico superior das amostras de bio-óleo, obtido de lodo de esgoto anaeróbio nessa pesquisa, variou entre 17.0 e 18.0 MJ/kg, estando os resultados experimentais situados entre os valores relatados na literatura, 13 - 18 MJ/kg (Oasmaa *et al.*, 2001).

Oasmaa *et al.*, (2001) informam que a forma de alimentação de biomassa (contínuo e batelada) e o tipo da condensação dos vapores da pirólise interferem no conteúdo de sólidos no bio-óleo. O teor de sólidos das amostras de bio-óleo variou entre 0.8 % (LQ-1) e 0.9 % (LQ-2). O menor teor de sólidos na composição do bio-óleo foi detectado para a condição menor frequência de centrifugação da coluna lavadora de gases (20 Hz), sendo que o maior valor de sólidos no líquido conseguido quando a centrifugação foi de 26 Hz, o que indica que o processo de centrifugação também interfere no arraste de sólidos ao longo do sistema de pirólise.

### Conclusões

As características químicas da biomassa, poder calorífico superior (21.07 MJ/kg) e teor de carbono (26.97%), apontam para utilização do resíduo como precursor para a produção de biocombustíveis.

O tratamento térmico por pirólise é uma alternativa ambientalmente correta para ser empregada no reaproveitamento de lodos residuais. As frações líquida e gasosa obtidas durante o processo apresentam elevados poderes caloríficos.

As variáveis usadas na pirólise do lodo de esgoto, tais como a temperatura e a taxa de aquecimento têm uma grande influência sobre o rendimento e composição dos produtos da reação.

A temperatura teve efeito negativo para frações líquida e sólida e positiva para a fase gasosa. Observa-se que temperaturas maiores promovem uma maior degradação dos vapores da pirólise em cadeias carbônicas menores, aumentando a produção de gases originados do processo de pirólise.

As amostras de bio-óleo apresentaram um valor do pH em torno da neutralidade e com baixos valores de viscosidade, o que pode ser um atrativo visando aplicação industrial do líquido. O bio-óleo possui alto poder calorífico (18.0 MJ/Kg).

O sistema pirolítico utilizado nessa pesquisa apresenta como vantagens: (a) fluxo contínuo para pequenas capacidades de alimentação de biomassa, (b) dispensa a princípio o emprego de carga térmica inerte como areia ou sílica, (c) baixo tempo de residência da biomassa e (d) auto-limpeza do reator bem como a condução e desagregação da biomassa pela mola helicoidal minimizando prováveis entupimentos.

Os parâmetros de operação (vazão de gás e de biomassa, temperatura, velocidade de rotação do reator e do sistema de centrifugação) do processo de pirólise do lodo são facilmente ajustados e controlados. Os rendimentos de bio-óleo e biogás, obtidos no reator cilindro rotativo, são semelhantes aos resultados empregando-se outros tipos de reatores (leito fixo, leito fluidizado).

### Referências bibliográficas

- Almeida, M. B. B. (2008) *Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e o seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 149pp.
- Chiamaramonti, D., Oasmaa, A., Solantausta, Y. (2007) Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11**(6), 1056-1086.
- Czernik, S., Bridgwater, A.V. (2004) Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. *Energy and Fuels*, **18**, 590-598.
- Dominguez, A., Menendez, J.A., Inguanzo, M., Pis, J.J. (2005) Investigation into the characteristics of oils produced from microwave pyrolysis of sewage sludge. *Fuel Process Technol*, **86**, 1007-1020.
- Eckenfelder, W.W. (2005) *Industrial Water Pollution Control*, Boston, McGraw-Hill.
- Fonts, I., Azuara, M., Gea, G., Murillo, M.B. (2009) Study of the pyrolysis liquids obtained from different sewage sludge. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **85**, 184-191.
- Fonts, I., Kuoppala, E., Oasmaa, A. (2009) Physicochemical properties of product liquid from pyrolysis of sewage sludge. *Energy & Fuels*, **23**, 4121-4128.
- Metcalf & Eddy (2002) INC. *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse*. New York, Ed. McGraw-Hill, 1334 pp.

- Oasmaa, A., Kytie, M., Sipilä, K. (2001) Pyrolysis Oil Combustion Tests in an Industrial Boiler. In: *Progress in Thermochemical Biomass Conversion*. Blackwell Science, 1468-1481.
- Oasmaa, A., Meier, D. Norms and standards for fast pyrolysis liquids. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **73**, 323-334, 2005.
- Oasmaa, A., Peacocke, C.A. (2001) guide to physical property characterisation of biomass-derived fast pyrolysis liquids. Technical Research Centre of Finland, 65pp.
- Oliveira, F.C. (2000) *Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar*. 247p. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Pedroza, M.M., Vieira, G.E.G., Sousa, J.F., Bezerra, M.B.D. (2014) Characterization of the products from the pyrolysis of sewage sludge in 1 kg/h rotating cylinder reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **11**, 147-157.
- Pedroza, M.M., Vieira, G.E.G., Sousa, J.F. (2011) Características químicas de lodos de esgotos produzidos no Brasil. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, **4**, 1-13.
- Pires, A.M.M., Andrade, C. (2006) Metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. In: *Gestão de Resíduos na Agricultura e Agroindústria*. Botucatu, FEPAF, 205-232.
- Qiang, L., Xu-Lai, Y., Xi-Feng, Z. (2008) Analysis on chemical and physical properties of bio-oil pyrolyzed from rice husk. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **82**, 191-198.
- Vieira, G.E.G., Romero, G.A., Sella, S.M., Damasceno, R.N., Pereira, R.G. (2009) 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.