

DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE LODO DE ESGOTO PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Danilo Rodrigues de Almeida¹, Magno Tavares Lima dos Santos², Thaysa Araújo Campos², Elaine da Cunha Silva Paz³, Marcelo Mendes Pedroza⁴

¹Estudante do Ensino Médio Integrado em Mecatrônica –IFTO, bolsista do CNPq. e-mail: danilo-rod-almeida@hotmail.com

²Estudante do Ensino Médio Integrado em Agronegócio, bolsista do CNPq. e-mail: magnetavares99@gmail.com

³Licenciada em Química pela Universidade Federal do Piauí- IFTO, e-mail: elaine@ifto.edu.br

⁴Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte- IFTO, e-mail: 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 %.

PALAVRAS-CHAVE: pirólise, lodo de esgoto, cilindro rotativo, bio-óleo, indústria

1.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 endotérmico 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, 2010).

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. 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 – diesel.

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 CO₂. O gás de síntese (CO e H₂) 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.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 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 Efluente do reator UASB é lançado numa lagoa facultativa, 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.

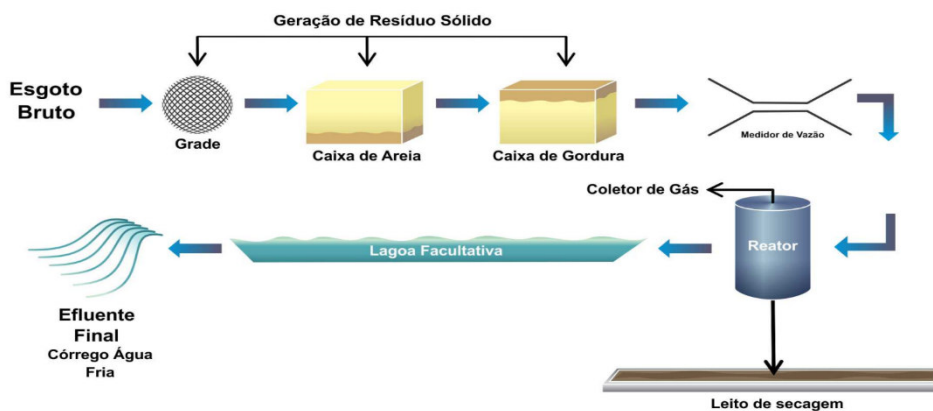


Figura 1. Desenho esquemático da ETE Vila União, localizada em Palmas, Tocantins, Brasil

2.2 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 são tipicamente anaeróbios. 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 Analisador elementar usado no experimento foi o CE Instruments, Modelo EA 1110.

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

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

O lodo residual utilizado nos ensaios de pirólise foi produzido em Reator UASB (Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo) e fornecido pela Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins).

O material 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 mm para garantir a homogeneidade da amostra e para facilitar os procedimentos de análise (Figura 2).

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.

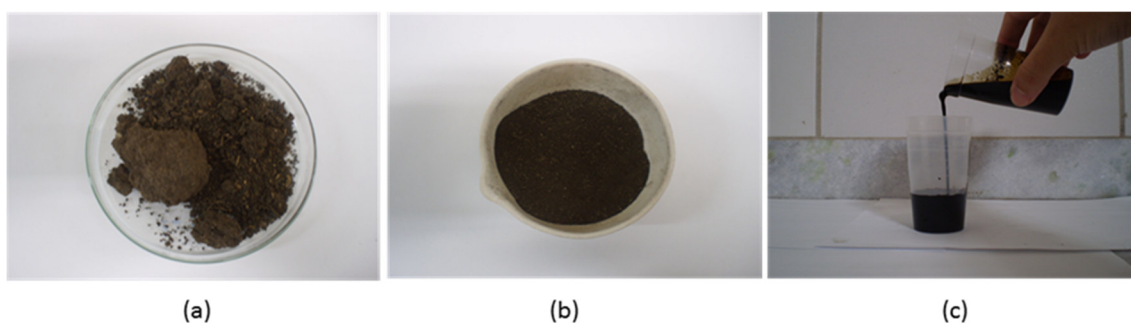


Figura 2 – Lodo anaeróbio de reator UASB: (a) lodo bruto, (b) lodo pulverizado e (c) bio-óleo obtido do processo de pirólise

PIRÓLISE DE BIOMASSA

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 3). 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.

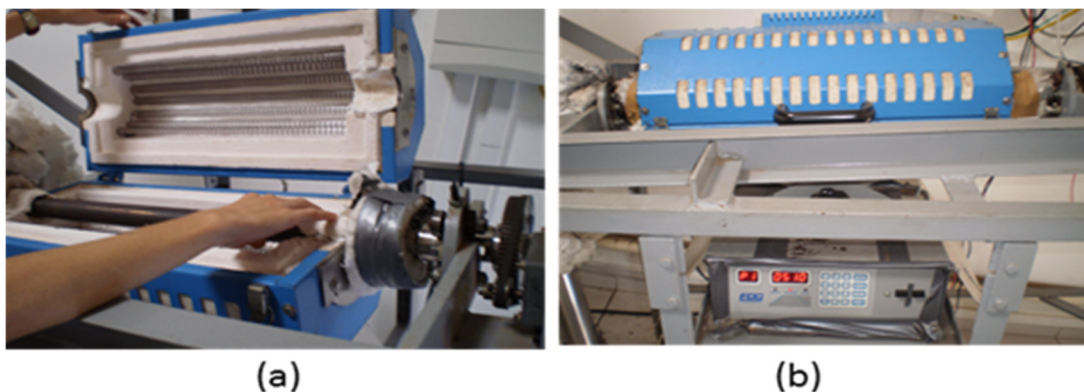


Figura 3 – Sistema de pirólise: (a) reator de cilindro rotativo e (b) forno utilizado no sistema de aquecimento do reator

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 5). A fração aquosa foi separada do bio-óleo em funil de separação, utilizando-se diclorometano (Figura 4). A fração gasosa do processo foi coletada em colchão inflável e pesada.



Figura 4 – Separação da fração aquosa do bio-óleo em diclorometano

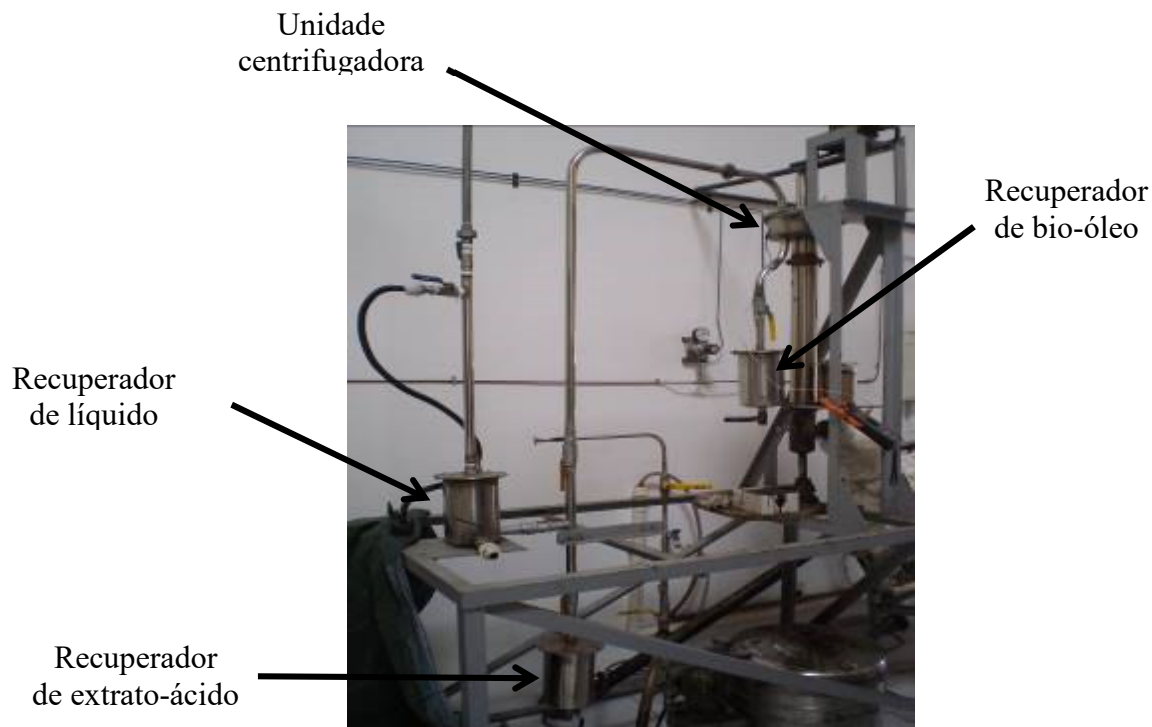


Figura 5 – Condensação e recuperação de líquidos pirolíticos

3. 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).

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).

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) ⁽¹⁾	
Zinco	891	683 Oliveira (2000)	470 Hossain <i>et al.</i> , (2009) ⁽²⁾
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)

⁽¹⁾ mistura de lodo aeróbio e lixo

⁽²⁾ lodo anaeróbio digerido

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 6). É importante ressaltar que temperaturas abaixo de 450 °C não favorecem a produção de bio-óleo, induzindo apenas a geração da fração sólida (carvão).

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.

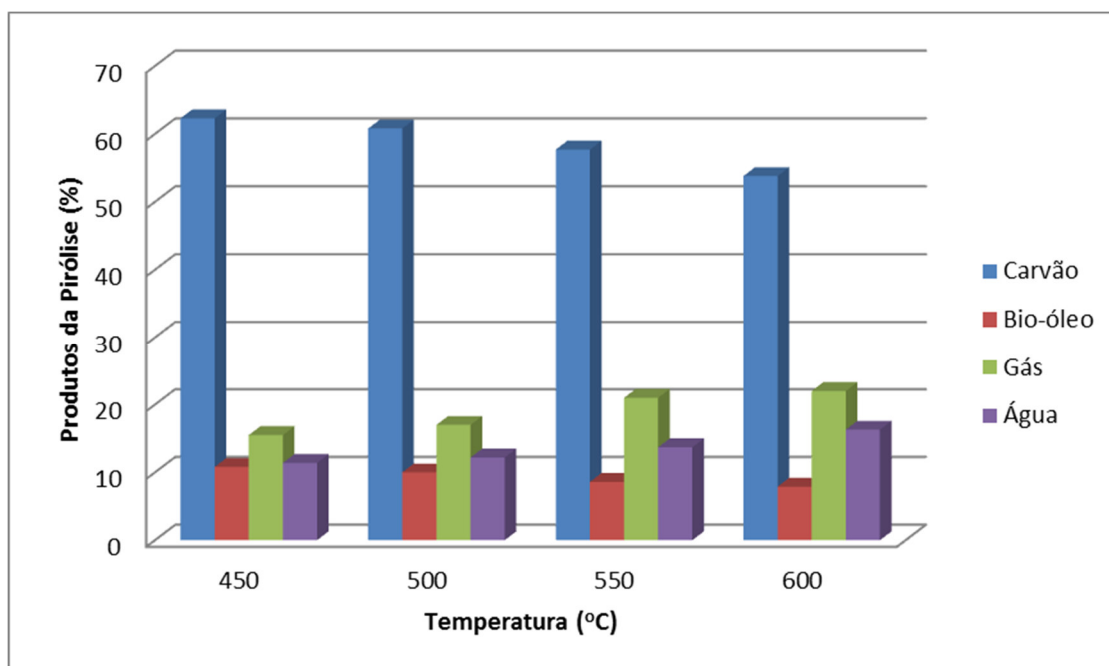


Figura 6 – Rendimentos das frações obtidas durante a pirólise de lodo de esgoto doméstico

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 pirólíticos, 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.

6. 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.

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)

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao CNPq e ao Instituto Federal do Tocantins.

REFERÊNCIAS

ECKENFELDER, W.W. (2005) **Industrial Water Pollution Control**. Boston, McGraw-Hill.

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

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. (2010) **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. Tese de Doutorado, Universidade do Rio Grande do Norte, 210 p, 2010.

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, p. 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, p.205-232.

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.