

APROVEITAMENTO DE LODO RESIDUAL PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Matheus G. Arruda¹, Marcelo M. Pedroza², Eduardo P. Negre³, Flávio V. M. Silva⁴, Danilo C. Custódio⁴

¹Estudante do Curso Técnico em Controle Ambiental Integrado ao Ensino Médio – IFTO. Bolsista do Programa de Iniciação Científica do CNPQ. e-mail: <matheus.arruda@estudante.ifto.edu.br>

²Professor Orientador, Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas. Email: mendes@ifto.edu.br

³Estudante do Curso Superior de Engenharia Civil – IFTO. Bolsista do CNPq.

⁴Estudante do Curso Técnico em Controle Ambiental Integrado ao Médio – IFTO. Bolsista do Programa de Iniciação Científica.

Resumo: Um dos grandes problemas em que se enfrenta atualmente no Brasil é a destinação final dos resíduos sólidos urbanos e agroindustriais. O Brasil é um país industrializado, entretanto devido aos custos de implantação de técnicas de adequação dos resíduos gerados para despejo, estes acabam sendo despejados inadequadamente no meio ambiente, provocando poluição ambiental, visual e gerando uma baixa imagem pública do município. Buscando amenizar tais problemas, a pirólise surge como uma alternativa de conversão energética, no qual a partir da degradação térmica da biomassa, obtém-se três produtos principais: (1) carvão ativado, (2) bio-óleo e (3) bio-gás. Este estudo tem por objetivo efetuar uma revisão bibliográfica de trabalhos já realizados sobre a problemática dos resíduos sólidos agroindustriais, bem como a caracterização físico-química do resíduo em estudo e ensaios de pirólise. Os resultados obtidos na caracterização do lodo foram: Umidade 5,86%, Cinzas 5,71%, Material volátil 86,5% e Carbono Fixo 1,94%. Pode-se concluir que existe a viabilidade técnica do processo da pirólise como uma alternativa de destinação final dos resíduos da indústria da soja, visto que os produtos finais do processo possuem um alto valor agregado. Em relação ao carvão obtido, este pode ser utilizado tanto em sistemas de adsorção, quanto em fornos e caldeiras, devido a sua porosidade e poder calorífico, respectivamente. Os elementos presentes no bio-óleo são similares aos encontrados nos derivados de petróleo, tendo ainda um alto poder calorífico, que indica grandes possibilidades de substituir os combustíveis fósseis como o óleo diesel, contribuindo assim, para diversificação da atual matriz energética.

Palavras-chave: Lodo da transesterificação da soja, degradação termoquímica, bio óleo, pirólise.

1 INTRODUÇÃO

Desde a Segunda Revolução Industrial, cresce vertiginosamente a dependência global por combustíveis fósseis. Entretanto, atualmente, as formas alternativas de obtenção de energia renovável têm ganhado grande espaço entre os pesquisadores, devido aos problemas ambientais decorrentes do uso excessivo de derivados de petróleo (MACHADO, 2019; MENESES et al., 2012).

Os biocombustíveis surgem como uma alternativa viável para substituição dos derivados de petróleo, podendo citar o óleo diesel e a gasolina, e um dos processos que tem demonstrando eficiência na produção de biocombustíveis é o aproveitamento de resíduos através da pirólise de biomassa.

Dentre os processos térmicos, a pirólise se destaca pelas baixas emissões e gases do efeito estufa e pelo potencial de geração de subprodutos de alto valor agregado. Por definição, a pirólise é a degradação termoquímica de um material, em um ambiente parcial ou totalmente isento de oxigênio. Entre os subprodutos, destacam-se o bio-óleo, bio-carvão e o bio-gás.

De acordo com Garcia (2006) a biomassa é a que mais se destaca no quesito balanço

energético estudada pelos pesquisadores. Segundo Machado (2019) essa fonte de energia representa cerca de 38% do consumo em países emergentes, representando ainda, a quarta maior fonte de energia no mundo atualmente. O grande diferencial da biomassa, ainda segundo os pesquisadores, é a sua baixa emissão de poluentes na atmosfera, como o enxofre e o dióxido de carbono, quando comparado aos derivados de combustíveis fósseis. Esse ponto, contribui grandemente para o seu emprego na pirólise, pois seus subprodutos não irão apresentar tais poluentes.

Considerando o exposto, esta presente pesquisa tem como objetivo, destinar e aproveitar, de uma maneira ambientalmente correta, o lodo residual gerado nas dependências industriais da GRANOL COMÉRCIO E EXPORTAÇÃO S/A, produzido através do processo de transesterificação do óleo de soja e derivados. Contribuindo assim, para diversificação do plano energético municipal e estadual, gerando possibilidades de emprego e renda nos processos produtivos.

1.1 Revisão Bibliográfica

Buscas por melhorias no sistema de gestão do lodo residual que sejam de forma econômica e ambientalmente corretas é uma das questões críticas da sociedade atualmente. A quantidade de lodo produzido por indústrias e usinas de tratamento de águas residuais aumentará dramaticamente tanto nos países industrializados como emergentes. A reciclagem para a agricultura, a incineração ou aterros sanitários são as rotas de disposição mais comuns para esses resíduos (HENDGES et al., 2017).

No entanto, a incrementação desse resíduo no solo para agricultura, levam a um aumento na concentração de metais pesados nos solos e emissões indiretas no ar e na água (PEREIRA & GARCIA, 2017). A deposição de aterros exige muito espaço e representa um risco potencial para o meio ambiente. A incineração pode proporcionar uma grande redução de volume e economia de energia, no entanto, gera emissões prejudiciais ao ar, solo e água. (PEREIRA & GARCIA, 2017; HENDGES et al., 2017).

Segundo Wang *et al.*, (2016) existem diversos métodos convencionais usados para se tratar lodos, dentre eles cita-se a aplicação das terras agrícolas e a eliminação de lodo em aterros sanitários e oceanos. No entanto, esses métodos também podem causar graves acidentes de poluição ou precisam de altos custos de tratamento, e não é ecológico ou econômico.

Entre as várias opções de gerenciamento de lodo, a pirólise surge como uma alternativa sustentável devido a métodos potenciais para resolver esses problemas, através da produção gás, bio-óleo e carvão, evitando a formação de compostos tóxicos orgânicos.

No estudo de Karayildirim et al. (2012), foram utilizados dois tipos diferentes de lodo. Um deles consistiu em um lodo ativado da estação de tratamento de águas residuais da indústria petroquímica (L1). O segundo era um lodo oleoso, amostrado a partir da etapa de decantação primária após a separação na estação de tratamento de águas residuais (L2).

A pirólise de lodo no reator de leito fixo foi realizada a 500°C. A temperatura de pirólise foi estimada com base em resultados obtidos pela TGA. A temperatura utilizada foi de acordo com a literatura. Na pirólise do lodo entre 450 e 800°C, verificou-se que o aumento na temperatura de pirólise provocou uma diminuição da fração sólida e para um aumento da fração do gasosa, enquanto a fração líquida permanece quase constante.

2 METODOLOGIA

2.1 Determinação de Umidade

A umidade foi determinada em conformidade com a norma ASTM D3173-85. A massa de aproximadamente 1g de biomassa foi adicionada a cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. A amostra foi aquecida em uma estufa à temperatura de 110 °C por um período de 1 hora (Figura 1). Na sequência o cadinho foi colocado em um dessecador por 10 minutos e pesado. Por fim, efetuou-se o balanço de massa de maneira a obter o teor de umidade na amostra.

Figura 1 – Estufa para esterilização bacteriana e remoção de umidade.



Fonte: Autor (2019)

2.2 Materiais Voláteis

Segundo Sanchez et al., (2009), a determinação do teor de material volátil da biomassa dos agrosíduos em estudo foi obtida em triplicata pesando cerca de 1g de amostra em um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. A amostra foi aquecida em uma mufla à temperatura de 915° C, na ausência de oxigênio por um período de durante 20 minutos (Erro: Origem da referência não encontrada). Após o procedimento, a amostra foi levada ao dessecador e permaneceu por 1 hora, até que se obtivesse massa constante. Ao fim, efetuou-se o balanço de massa.

2.3 Teor de Cinzas

De acordo com Sanchez et al., (2009), o teor de cinzas foi obtido adicionando a massa de aproximadamente 1g de biomassa em triplicata em cadinhos de porcelana com peso constante pré-

determinado. A amostra foi calcinada a uma temperatura de 815 °C durante 30 minutos em mufla da marca Coel Modelo Hm. Na sequência o cadinho é colocado em um dessecador por 1 hora para esfriar e em seguida pesado e medido o teor.

O teor de cinzas foi determinado em conformidade com a norma ASTM2415-66 e seus resultados foram obtidos através do balanço de massa entre amostra inicial e final.

2.4 Determinação de Densidade Aparente

Acoplou-se uma proveta de 100mL em uma balança analítica. Zerou-se a balança e adicionou-se a biomassa *in natura* semi-sólida e pastosa. Obteve-se as massas (g) nas sucessivas adições nos respectivos volumes de 20mL, 40mL, 60mL, 80mL e 100mL. Determinou-se a densidade, média e o desvio padrão.

2.5 Degradação Termoquímica e Ensaio de pirólise

O sistema de pirólise consistiu em duas partes fundamentais: o reator químico de leito fixo e o sistema de condensação. O reator foi projetado e desenvolvido no Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade e Energia (LARSEN), ele é composto por uma câmara de aquecimento na qual abriga o tubo de quartzo que contém duas flanges em suas extremidades, cuja finalidade é de fazer a vedação do interior do tubo (Figura 2). Posteriormente, tem-se um sistema de condensação acoplado a uma bombinha de aquário (Figura 3). Além disso, as flanges possuem saídas que permitem a passagem do gás de arraste. O tubo comporta a amostra e garante a atmosfera inerte necessária para o processo de pirólise.

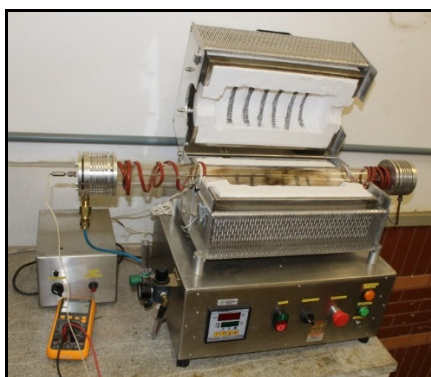


Figura 2 – Reator de leito fixo bipartido.

Fonte: Autor (2019)



Figura 3 - Sistema de condensação implementado no reator químico de leito fixo.

Os ensaios de pirólise foram realizados de forma a avaliar simultaneamente diversos parâmetros de controle no processo de pirólise. Foram estabelecidos 2 parâmetros de modo a avaliar diferentes condições nas análises: Temperatura e Taxa de aquecimento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise Imediata Experimental da Biomassa

Os teores de cinzas, umidade, materiais voláteis e carbono fixo foram obtidos através de análise imediata realizada em triplicatas, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados das análises imediatas.

Biomassa	Umidade (%)	Cinzas (%)	Material volátil (%)	Carbono Fixo (%)
Lodo de Soja	5	5	8	1,94
	,8	,7	6	
	6		,5	

Fonte: Autor (2019)

A determinação do teor de umidade auxilia na avaliação do consumo energético durante o processo de pirólise. Quanto maior o teor de água no material, maior será o gasto energético. Isso implicará aumento no custo total de processamento, conduzindo, assim, à necessidade de secagem prévia da biomassa. Neste caso, a biomassa empregada tem um teor de umidade bastante baixo, variando de 5 a 6% nas análises empregadas no laboratório.

O teor de cinzas deve-se à presença de substâncias inorgânicas, em que a maior quantidade do teor de cinzas favorece um aumento do rendimento da fração sólida e gasosa e a diminuição da fração líquida. Se tratando do Lodo da Soja, predomina-se conteúdos orgânicos, e assim, tem-se uma maior quantidade de bio-óleo em relação a parte sólida.

Nesta pesquisa, o teor de massa volátil encontrado foi de 86,5%. Segundo a literatura, o conteúdo de material volátil da biomassa interfere diretamente na facilidade de se queimar uma biomassa, pois quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e consequentemente a ignição.

Por fim, o carbono fixo compreende o percentual de compostos restantes após processo de liberação dos materiais voláteis, retirando-se cinzas e umidade. Existem estudos na literatura que apontam correlações entre o carbono fixo e a lignina, sendo que se comportam de maneira direta proporcional.

3.2 Densidade Aparente

A importância do conhecimento da densidade de um material, diz respeito às suas características de compactação e preenchimento em diferentes formas, como é observado na Tabela 3, a densidade da amostra em estudo se encontra abaixo do valor médio da água, ponto esse que indica uma alta ocupação do volume do sistema do reator empregado em estudo.

Tabela 3 - Resultado da análise da densidade aparente.

Experimento	Massa (g)	Volume (mL)	Densidade (g/mL)
1	9,168	20	0,458
2	21,755	40	0,544
3	32,707	60	0,545
4	42,795	80	0,535
5	55,034	100	0,550
Média			0,5264
R de Pearson			0,999340483

Fonte: Autor (2019).

Segundo pesquisas de Pedroza (2010) a densificação é uma técnica importante requerida para aumentar a densidade da biomassa, tendo em vista que nesses termos, maiores quantidades de energia podem ser obtidas por unidade de volume nos diversos equipamentos.

3.3 Rendimentos da Degradação Térmica

O ensaio de pirólise foram realizados de acordo com a Tabela 4, os rendimentos sólidos dos produtos gerados no reator de leito fixo foram analisados de acordo com a massa que não foi arrastada pelo gás nitrogênio e permaneceu no interior do tubo de quartzo, os rendimentos líquidos são contabilizados a partir da massa condensada que permaneceu no Kitassato. Os rendimentos gasosos compõem-se nos gases que também foram arrastadas pelo nitrogênio, mas não foram condensados durante o processo, e, portanto, foram expelidos juntamente com o gás de arraste. Os gases não condensáveis não foram analisados para fins de rendimento, no entanto eles foram contabilizados partir da diferença dos produtos sólidos e líquidos.

Os principais produtos obtidos durante este tratamento térmico são o bio-óleo (líquido), o carvão (sólido) e a fração gasosa dos agroresíduos, produtos com densidade energética mais alta e melhores propriedades do que àquelas da biomassa inicial. Devido a seus poderes energéticos, esses materiais obtidos possuem utilizações potenciais diversas, podendo ser utilizado no seu próprio processo e para o setor industrial, além de contribuir para a diversificação do plano energético brasileiro (PEDROZA et al., 2010).

Tabela 4 – Resultados para as frações sólida e líquida.

Fatores		Rendimentos	
Temperatura (°C)	Taxa (°C/min)	Sólidos (%)	Líquidos (%)
500	25	33,4	19
500	25	33,7	-
500	30	31,86	-
830	25	11,89	-
800	20	13,68	-

Fonte: Autor (2018/2019)

Os resultados obtidos no processo térmico, considerando os fatores empregados na planta de pirólise estão ligeiramente próximo dos valores encontrados por Wang et al (2016). Embora o percentual de líquidos expresse somente o bio-óleo, o extrato-ácido produzido no processo não foi calculado, entretanto pode ser obtido por diferença na junção de gases e água.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lodo semissólido gerado em processos industriais pode ser aproveitado como fonte de energia para processo termoquímico, tendo em vista seu potencial de produzir biocombustíveis e produtos mais limpos, sendo possível aproveitar esse resíduo que seria descartado, trazendo benefícios ambientais, sociais e econômicos.

As tecnologias de conversão utilizando biomassas oriundas de agroindústrias são fundamentalmente importantes para o incremento na matriz energética renovável, e consequentemente nas indústrias tanto para fins energéticos para desenvolvimento de inovações tecnológicas que podem ser aplicadas nestes campos.

Como sugestão para trabalhos futuros, uma análise estatística dos dados obtidos deve ser realizada, utilizando ferramentas de qualidade como o diagrama de Pareto, permitindo identificar com clareza os parâmetros que influenciam efetivamente no processo de pirólise. Além disso análises elementares são importantes para determinar a caracterização físico-química dos produtos obtidos, garantindo uma análise detalhada do potencial dos biocombustíveis a serem produzidos.

REFERÊNCIAS

- ASTM D 2415-66. **Standard Test Method for ash Determination**, (1986).
- ASTM D 3173-85. **Standard Test of Humidity**, (1985).
- GARCIA, C. M., **Transesterificação de óleos vegetais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, São Paulo, 2006.
- HENDGES, L. T. et al., (2017) DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTO: UMA REVISÃO. **Anais do Salão Internacional de Ensino**, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal do Pampa, v.9, n.4, 2017.
- KARAYILDIRIM, Tamer et al. Characterisation of products from pyrolysis of waste sludges. **Fuel**, v. 85, n. 10-11, p. 1498-1508, jul. 2012.

- MACHADO, P. R. S. (2019) **PROSPECÇÃO DE BIOPRODUTOS A PARTIR DA DEGRADAÇÃO TERMOQUÍMICA DO SABUGO DE MILHO VISANDO APLICAÇÃO INDUSTRIAL.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Tocantins, 92p, Palmas, Tocantins, 2019
- MENESES, J. M. et al., (2012) Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação: investigação dos parâmetros operacionais. **Quim. Nova**, Vol. 35, No. 2, 235-240, 2012.
- 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.
- PEREIRA, A. C. A.; GARCIA, M. L. (2017) Effects of disposal of a food industry wastewater treatment plant sludge on soil: case study. **Eng Sanit Ambient**, v. 22, n. 3, p. 531-538, maio/jun 2017.
- 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.
- Wang, X., Deng, S., Tan, H., Adeosun, A., Vujanović, M., Yang, F., Duić, N. Synergetic effect of sewage sludge and biomass co-pyrolysis: A combined study in thermogravimetric analyzer and a fixed bed reactor. **Energy Conversion and Management**, v. 118, p. 399-405, abr. 2016.