

ÓLEO PRODUZIDO A PARTIR DE MAMONA IRRIGADA COM ESGOTO DOMÉSTICO PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL¹

GERMANA ARRUDA DE QUEIROZ², LÉA ZAIDAN², VALDINETE LINS DA SILVA²

¹Aceito para Publicação no 1º Trimestre de 2017.

² Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. germana_aqueiroz@yahoo.com.br,
leazaidan@yahoo.com.br, leaq_val@yahoo.com.br

Resumo

A mamoneira (*Ricinus communis* L.), é uma das oleaginosas selecionadas para o fornecimento de matéria-prima visando a produção de biodiesel, e possui uma relevante importância econômica e social para o Nordeste. Este trabalho objetivou avaliar, os aspectos produtivos da cultura da mamona irrigada com esgoto doméstico. O sistema foi composto de um reator UASB (*Upflow anaerobic sludge blanket*), uma lagoa anaeróbia, tanque de polimento e 4 drenos com a plantação da mamona. Foi obtida a redução de matéria orgânica 68% para as demandas químicas de oxigênio (DQO) e 77% para as demandas bioquímicas de oxigênio (DBO). Os sólidos suspensos totais (SST) no dreno 1 apresentaram uma média de 270,17 mg/L, enquanto que no dreno 4 chegou a 40,50 mg/L. Os valores do pH ficaram entre (6-9) para todos os drenos. O teor de óleo contido nas sementes foi analisado e obteve-se um rendimento de 46-70%. O óleo obtido foi caracterizado obtendo acidez de 0.0003 mg KOH/g, sendo classificada como do tipo 1, a densidade ficou na faixa de 0,940 g/cm³ e a viscosidade cinemática foi de 248,65 mPa.s. A análise cromatográfica identificou o ácido ricinoléico em maior quantidade com 79,9% na composição dos ácidos graxos. Os experimentos mostraram que o óleo de mamona possui um grande potencial para a produção de biodiesel.

Palavras-chave: mamona, água residuária, biodiesel

Oil produced from castor beans irrigated with domestic sewage for biodiesel production

Abstract

The castor bean (*Ricinus communis* L.), is one of the selected oil for the supply of raw material in order to produce biodiesel, and has a relevant economic and social importance to the Northeast. This work aimed to evaluate the productive aspects of the culture of castor bean under irrigation with domestic sewage. The system was composed of a reactor UASB (*Upflow anaerobic sludge blanket*), an anaerobic lagoon, polishing tank and 4 drains with the planting of castor. A reduction of 68% organic matter to chemical oxygen demand (COD) and 77% for biochemical oxygen demand (BOD) were obtained. Total suspended solids (TSS) in the drain 1 presented an average of 270.17 mg/L, while the drain 4 reached 40.50 mg/l. pH values were between (6-9) for all drains. The amount of oil contained in the seeds was analysed and produced a 46-70% yield. The oil was getting acidity of 0.0003 mg KOH/g, being classified as type 1, the density was in the range of 0.940 g/cm³ and the kinematic viscosity was 248.65 MPA.s. The chromatographic analysis has identified the ricinoleic acid in greater quantity with 79.9% in composition of fatty acids. The experiments showed that castor oil has a great potential for biodiesel production.

Keywords: castor oil, wastewater, biodiesel

Introdução

Devido a irregular distribuição de água doce no mundo, uso desordenado dos recursos naturais e o crescimento demográfico, a água é um recurso que a cada dia é mais importante para a sobrevivência do homem (ATABANI et al., 2012; DAVIS et al., 2015). Visando o

aumento de recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas na região do nordeste brasileiro, o uso de água de esgotos para irrigação de culturas aumentou significativamente. A utilização de efluentes de esgotos no solo é também uma das alternativas de controle da poluição (FERREIRA et al., 2015).

A busca pelo desenvolvimento de fontes alternativas de energia, a partir de matéria orgânica de origem animal e vegetal, a biomassa, vem aumentando objetivando a produção de combustíveis renováveis, como o álcool e o biodiesel. A mamoeira é uma das culturas eleitas para a produção de biodiesel (SOUZA et al., 2010). O biodiesel não é corrosivo, não é poluente, não tem aditivos, não emite enxofre para a atmosfera e é renovável (IJAZ et al., 2016).

A mamoneira, conhecida cientificamente como *Ricinus communis L.*, é uma xerófila de origem afro-asiática da família das euforbiáceas. Possui tolerância a pouca água, mas precisa de calor e luminosidade. A região nordeste, devido as condições climáticas fornecem condições para seu desenvolvimento e crescimento (EMBRAPA, 2013). As sementes de mamona fornecem teores de óleo que variam de 46 a 55%, cujo padrão comercial é de 45% (CHEAH et al., 2016).

É um óleo vegetal reconhecido por não haver bons substitutos em muitas de suas aplicações e devido, a sua versatilidade industrial. O diferencial do óleo da mamona é a quantidade de hidróxidos, e o maior destaque é o ácido ricinoléico onde há em geral 90% na sua composição, com três grupos altamente reativos, permitindo qualidades específicas à produção de uma infinidade de produtos industriais (AMIN et al., 2016; NOBRE et al., 2012). A elevada concentração de ácido ricinoléico no óleo de mamona permite a produção de derivados de alta pureza (SEVERINO et al., 2012). Os grupos químicos também conferem, a este composto, estabilidade e alta viscosidade, sendo considerado um dos óleos mais viscosos, quando comparado a outros óleos vegetais (HAILEGIORGIS et al., 2016).

No Brasil, de acordo com o 4º levantamento de avaliação da safra 2015/2016, o estado onde houve um aumento na produção da mamona nos últimos anos foi o estado da Bahia. Mundialmente, os países que mais produzem são a Índia, China e o Brasil. A China e o Brasil são os países que mais demonstram interesse nas bases de produção aumentando as demandas nacionais, para serem capazes de exportar grandes quantidades de óleo (COMPREHENSIVE OIL REPORT, 2010). A figura 1 mostra o gráfico com a série histórica de produção com os últimos 3 anos de produção da mamona no Brasil (CONAB, 2016).

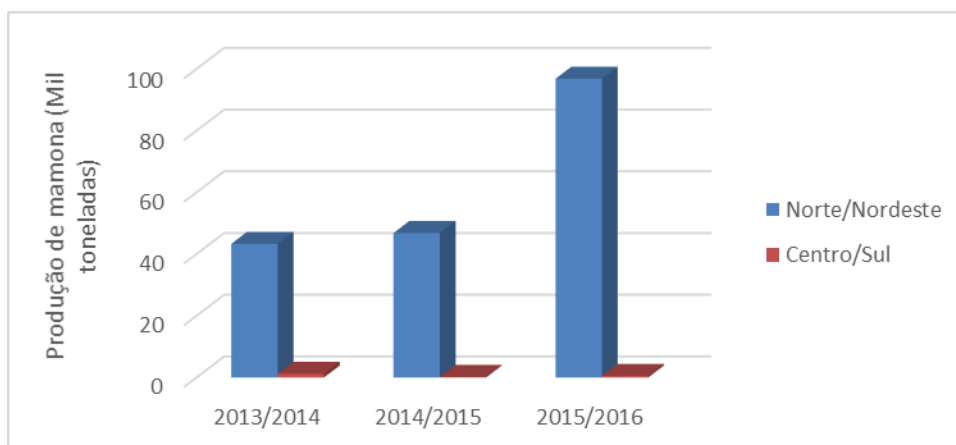


Figura 1: Produção de mamona no Brasil nas regiões Norte/Nordeste e Centro/Sul. Fonte: 4º Levantamento da safra 2015/16 / Conab.

O local da plantação das sementes de mamona foi no agreste setentrional de Pernambuco, região de clima semiárido, envolvendo o município de Pesqueira, a 216 km de Recife. Este trabalho tem como principal objetivo avaliar o efluente de esgoto doméstico bruto e o óleo obtido da plantação de mamona. Apresentando assim, uma nova proposta de atividade que produza combustível alternativo com baixo custo e com possibilidade de ser mais uma alternativa para substituir os combustíveis derivados do petróleo.

Material e métodos

Extração do óleo

A extração do óleo foi obtida utilizando o método Soxhlet, com base em procedimentos adaptados da norma analítica do Instituto Adolfo Lutz (PREGNOLATO e PREGNOLATO, 1985). As sementes de mamona foram submetidas a um processo de quebra. As amêndoas maceradas foram submetidas a um processo de secagem em estufa a 60°C por um período de 30 min. Após a secagem, as amêndoas foram empacotadas em papel de filtro e acondicionadas no extrator do tipo Soxhlet com n-hexano (Merck, 99%) durante 4 horas. Após a extração do óleo, o solvente foi removido com o uso de um rotaevaporador. Todo o processo de extração esta esquematicamente mostrado na Figura 2.

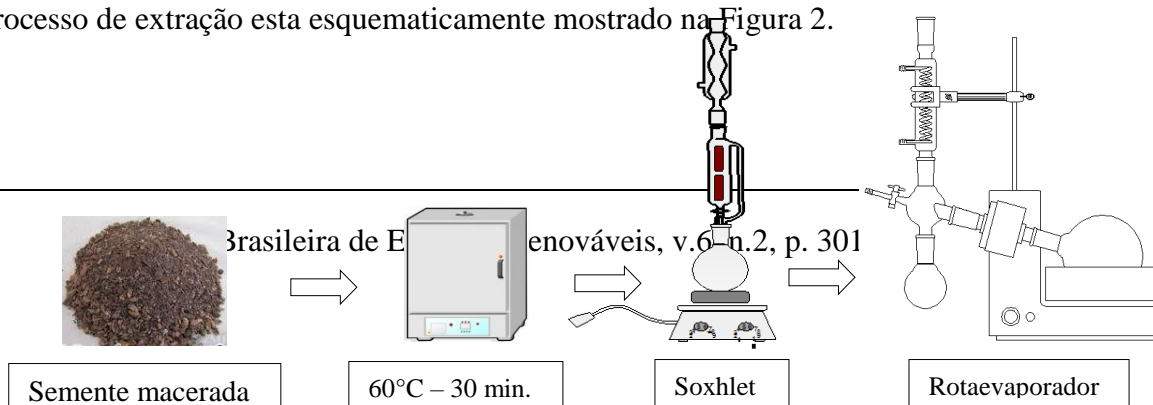


Figura 2: Representação esquemática do processo de extração do óleo utilizando o extrator tipo Soxhlet.

Acidez do óleo e reação de transesterificação

A acidez da amostra foi determinada pela norma ASTM D 664 e foi realizada através da titulação, usando (éter + álcool) como solvente, e a solução de hidróxido de sódio 0,1 N. A Figura 3 mostra as etapas de transesterificação, separação de fases e lavagem. A reação de transesterificação foi realizada na temperatura de 58°C, relação molar de álcool/óleo de 8/1; 0,5 % de hidróxido de sódio em relação à massa de óleo e agitação constante por uma hora. Depois da reação, houve a separação de fases com o glicerol (fase inferior) e o biodiesel (fase superior) devido à solubilidade baixa do glicerol nos ésteres. Essa separação foi realizada em um funil de separação, após duas horas. O biodiesel foi aquecido para a evaporação do excesso de álcool e posteriormente submetido à etapa de lavagem com água para a remoção do catalisador restante, sabão, sais, álcool e glicerina livre do biodiesel.

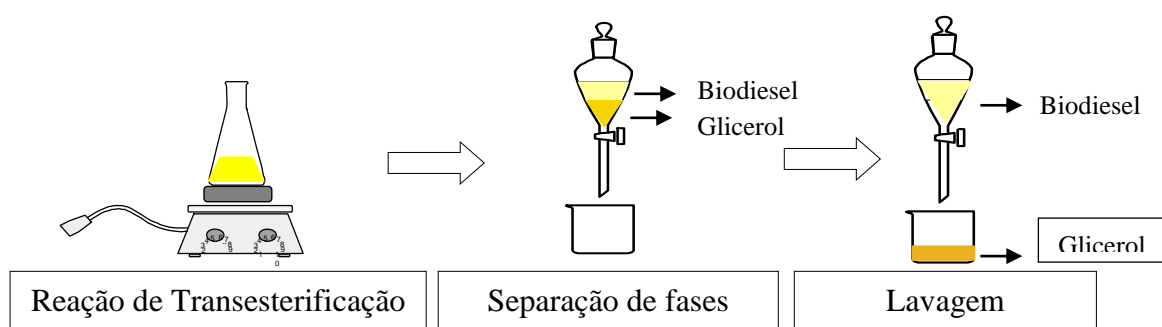


Figura 3: Etapas do processo de transesterificação e separação do biodiesel e glicerol.

Análises do óleo de mamona

As propriedades fluidodinâmicas, como a densidade, viscosidade e o índice de acidez realizado na etapa anterior, foram determinadas utilizando a metodologia do ASTM (American Society for Testing and Materials). A densidade do óleo foi determinada de acordo com a norma ASTM D 4052 e foi medida utilizando Anton Paar GmbH DMA 4500. A viscosidade cinemática foi determinada pela norma ASTM D 445 e foi medida utilizando Cannon-Fenske com fator a 40°C. A análise do ponto de fulgor foi determinada pela norma ASTM D6751 (método analítico ASTM D93) e foi utilizada Herzog, modelo HFP 360.

Quantificação dos ácidos graxos

O biodiesel sintetizado foi analisado para determinar os ésteres de ácidos graxos que compõe o combustível. O éster foi dissolvido em n-hexano, e uma amostra de 1 µL foi injetada em um cromatógrafo a gás CG MASTER com uma coluna capilar 0,53mm x 60m x 1µm. A fase estacionária usada foi polietilenoglicol, e o gás de arraste (H₂) usado a uma vazão de 5 mL/min. A temperatura do detector e do injetor foi mantida em 260°C e 240°C, respectivamente, e foi usado modo *split* em proporção de 1:50. A quantificação dos ácidos graxos foi feita por normalização de área

Resultados e discussão

Condições da água e do solo

O solo da região de Mutuca em Pesqueira - PE é por natureza muito sódico-salinos, por se tratar de uma região semiárida, apresenta características em razão da baixa precipitação pluvial e alta taxa de evaporação. Nestas circunstâncias, os sais não são lixiviados acumulando-se em quantidades podendo ser prejudicial ao crescimento normal das plantas (RIBEIRO et al.,2012). Tabela 1 mostra a análise da qualidade da água e do solo da região de pesqueira, os dados de entrada do reator UASB, saída na lagoa do polimento e dos 4 drenos instalados mostrando a qualidade do solo com a plantação da mamona.

Tabela 1 - Análise da qualidade de água e solo da região de Pesqueira – PE

Análises	Entrada	Saída	Dreno 1	Dreno 2	Dreno 3	Dreno 4
Condutividade	2706,67	1986,33	11690,00	14990,00	16843,34	8350,00
pH	7,55	7,92	8,40	7,96	8,10	8,38
SDT (mg/L)	1511,70	1291,10	9259,77	11926,87	14014,67	6131,27
SDV (mg/L)	237,57	246,47	2181,27	3425,67	4037,10	1258,70
SDF (mg/L)	1274,14	1044,64	7078,50	8501,27	9977,60	4872,60
P (mg/L)	23,25	48,18	4,24	4,93	14,61	2,48
N ₂ (mg/L)	53,83	29,36	3,73	5,86	3,93	1,65
DQO	571,80	421,14	230,04	320,00	339,70	185,10
DBO	154,00	96,44	24,64	38,31	38,60	35,85
SST (mg/L)	162,14	141,74	270,17	51,76	50,44	40,50
SSV (mg/L)	139,60	122,80	181,50	27,70	23,60	18,97
SSF (mg/L)	22,54	60,30	87,70	24,10	26,84	21,40
ST (mg/L)	1673,84	1432,84	9528,94	12521,20	14065,10	6171,67
SV (mg/L)	377,17	327,90	2362,77	3669,07	4060,67	1277,67
SF (mg/L)	1296,70	1104,90	7166,17	8852,10	10004,44	4894,00
SO ⁻² (mg/L)	147,30	165,40	553,15	896,56	1288,55	1074,50
Alcalinidade	529,30	421,30	528,90	467,10	460,87	503,37
Dureza Total	378,90	290,07	2639,50	3717,20	3860,20	1760,03
Dureza Mg	65,77	52,27	743,27	1095,88	1163,40	452,80
Cl ⁻ (mg cl/L)	412,40	257,54	5049,90	10891,67	6708,07	1930,20

Foram realizadas 3 coletas com um total de 21 determinações em cada coleta realizada. Os dados apresentados na Tabela 1 são decorrentes da média das 3 coletas. Esses valores informam as condições das águas residuária na entrada e saída do esgoto doméstico tratado por sistema anaeróbio e a influência do solo na drenagem dos esgotos empregados.

Foi considerado que o solo para o plantio de mamona deve ser bem drenado, pois a planta é extremamente sensível ao encharcamento, mesmo que temporário. Cerca de três dias sob encharcamento pode provocar morte das plantas. Solos com alta salinidade também são

pouco recomendados, pois a presença de alta concentração de sais pode prejudicar o crescimento da planta (FERREIRA, et al., 2015; RIBEIRO et al., 2012).

Analisando-se os resultados das demandas bioquímicas de oxigênio (DBO) e química de oxigênio (DQO), pode-se observar que os primeiros resultados do tratamento anaeróbio mostram que o sistema está em fase de formação e adaptação do lodo, o que necessita de um tempo para haver ajuste dos parâmetros, pois a eficiência de remoção de DQO foi em torno de 26%, resultado abaixo das características de um bom sistema UASB. O rendimento de remoção de DBO foi em torno de 37%. As águas subterrâneas foram monitoradas através de drenos de 1 a 4.

Quanto mais distante o dreno do sistema de tratamento maior a remoção de matéria orgânica expressa como DQO e DBO, cujos valores de remoção foram respectivamente 68% e 77%. Estes valores foram menores para os drenos mais próximos da lagoa de polimento. Pode-se considerar que o próprio solo se encarregou de degradar parte da matéria orgânica ainda contida na água residuária tratada. Os resultados nos drenos de 1 ao 4 mostram que os sais contidos no solo estão sendo lixiviados e o esgoto está aos poucos deixando a terra preparada para a plantação.

Os sólidos suspensos totais (SST) são aqueles passíveis de serem retidos por uma filtração, e constituem-se da fração dos sólidos totais (ST). O dreno 1 apresentou uma maior concentração de sólidos, e os demais drenos, 2 a 4 chegaram a apresentar uma remoção de sólidos suspensos totais de 75% e de 88% de sólidos suspensos voláteis (SSV) devido a boa correspondência com a matéria orgânica. A grande maioria dos sólidos totais voláteis (STV) é material orgânico (biodegradável e não biodegradável) e a grande maioria dos sólidos totais fixos (STF) é de material mineral (NOBRE et al., 2012). Há um aumento dos sólidos totais principalmente nos drenos de 1 a 3, diminuindo para o dreno 4.

Os valores dos sólidos suspensos fixos (SSF) mostram que a quantidade de areia está diminuindo da entrada do dreno 1 até a saída no dreno 4, considerando que este está mais afastado da estação de tratamento. Considerando os parâmetros de condutividade (uS/cm), pH, sólidos dissolvidos totais - SDT (mg/L), sólidos dissolvidos voláteis - SDV (mg/L), sólidos dissolvidos fixos - SDF (mg/L), Fósforo (mg/L), Nitrogênio Kjeldhal (mg/L), pode-se observar que os solos sódico-salinos apresentam uma condutividade alta entre 1986,33 (uS/cm) e 16843,34 (uS/cm) após os drenos de 1 a 3, para depois alcançar valor de 8350 (uS/cm). A condutividade depende da concentração iônica, principalmente pelo conteúdo de

nutrientes como cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, sulfato e cloreto (VALDEZ—AGUILAR, 2010, RIBEIRO *et al.*, 2012).

A condutividade da água aumentou nos drenos de 1 a 4. À medida que mais sólidos dissolvidos totais (SDT) foram adicionados, a partir destes dados constata-se que o solo retém os sais, deixando o solo em melhores condições para a plantação de mamona.

O pH é importante, dada a sua relação com a acidez e alcalinidade. Neste trabalho o valor do pH está de acordo com os padrões (6-9), indicando um solo básico favorável para a plantação da mamona. Concentrações elevadas de SDF (1044,64 - 997,60) em comparação com SDV (237,57 - 4037,10) indicam água residuária com alta salinidade e a provável necessidade de tratamento físico-químico. As concentrações de nitrogênio total kjedhal e de fósforo total tiveram um decaimento mostrando que esses parâmetros indicam que estes elementos foram retidos no solo, que é de suma importância para o crescimento das plantas.

Observando os parâmetros de sulfatos - SO_4^{2-} (mg/L), alcalinidade total (mg de CaCO_3/L), dureza total (mg de CaCO_3/L), dureza de cálcio (mg/L), dureza de magnésio (mg/L) e cloretos - Cl^- (mg/L), os resultados mostram que todos os parâmetros analisados cresceram do dreno 1 a 4 contribuindo desta maneira para a qualidade do solo.

Extração do óleo e rendimento

A Figura 3 ilustra os óleos obtidos com as extrações em Soxhlet. O óleo extraído a partir das amêndoas maceradas apresentou coloração amarelada.



Figura 3: Óleo de mamona obtido das amêndoas depois do processo de extração.

Para a obtenção desse óleo foram realizados um total de sete extrações para extração de aproximadamente 410 ml de óleo. A Tabela 2 mostra uma média do teor de óleo em relação as amêndoas em cada extração e no final há uma média de todas as extrações.

Tabela 2 – Teor de óleo das amêndoas da mamona.

EXTRAÇÃO	MASSA (g)		TEOR DE ÓLEO EM RELAÇÃO ÀS AMÊNDOAS (%)
	AMÊNDOA	TEOR ÓLEO	
1	80,0	55,2	70,21
2	120,0	68,3	55,55
3	80,0	45,05	58,09
4	100,0	67,8	65,25
5	80,0	39,43	49,28
6	140,0	64,4	46,68
7	140,0	66,8	47,86
MÉDIA			56,13

Os valores da tabela acima mostram o teor de óleo em relação às amêndoas, nas realizações das extrações houve a primeira extração houve um valor muito grande de óleo (70,21%), ficando muito acima da média do padrão comercial que é de 45% (NOBRE *et al.*, 2012). As outras extrações ficaram perto da média em relação aos valores encontrados na literatura que informa que a mamona tem uma variação de 48-50% de óleo do padrão de sua extração. A Tabela 2, também nos mostrou que os resultados do teor de óleo apresentaram uma variabilidade substancial para o cálculo do rendimento em relação à massa de amêndoas maceradas e com casca. Diversos fatores podem ter contribuído para essa variabilidade, tais como: teor de umidade e estado de conservação das amêndoas.

A Tabela 3, mostra os valores das análises do índice de acidez, massa específica e viscosidade cinemática do óleo obtido do processo de extração.

Tabela 3 – Resultados das análises do óleo de Mamona

Análise	Método	Unidade	Valor
Índice de acidez do óleo	ASTM D 4052	mg KOH/g	0,00003
Massa específica do óleo a 20 °C		Kg/l	0,940
Viscosidade Cinemática do óleo		mPa. s	248,65

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, observa-se um baixo índice de acidez (0,0003mg KOH/g), sendo classificado como óleo do tipo 1, onde possui valor inferior a 1%. Havendo um alto teor de acidez, o óleo bruto teria um aumento na perda da neutralização, sendo também indicador de sementes de baixas qualidades, de manuseio e armazenamento impróprio ou de um processamento insatisfatório. A densidade da amostra do óleo na temperatura de 20°C foi de 0,940 kg/l. A viscosidade encontrada a 40°C foi de 248,65 cSt. Em estudos de especificações de alguns óleos vegetais “in natura” encontraram viscosidade de 296,87 mPa.s para o óleo de mamona a uma temperatura de 37,8 °C. Podemos dizer que os valores de caracterização do óleo estão de acordo com valores encontrados na literatura (DIAS *et al*, 2013).

Transesterificação

A reação de transesterificação foi realizada nos procedimentos normais de acordo com a metodologia descrita, porém não houve caracterizações do biodiesel preparado. É importante relatar alguns problemas nesta etapa devido a polimerização do óleo. Após a reação de transesterificação, o óleo colocado em estufa para retirar a umidade na faixa de temperatura de 100°C houve a ocorrência de processos de polimerização dos ésteres em alguns experimentos.

Análise dos ácidos graxos

Os ácidos graxos foram analisados pela análise cromatográfica, os ésteres de ácidos graxos insaturados aparecem em maior quantidade com os ésteres de ácido oleico (C18:1), linoleico (C18:2) e ricinoléico (C18:2) em maiores proporções, 6,3%, 8,5% e 79,9% respectivamente. Os ésteres metílicos de ácidos palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0) foram encontrados em níveis mais baixos. A Tabela 4 mostra a composição química em ácidos graxos do óleo de mamona.

Tabela 4 – Composição química em ácidos graxos do óleo de Mamona

Ácidos Graxos	Nº Carbono / Nº dupla ligação	Estrutura	Composição (%)
Palmítico	16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	3,2
Esteárico	18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	2,1
Oléico	18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	6,3
Linoléico	18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	8,5
Ricinoléico	18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	79,9
Saturados			5,3
Insaturados			94,7

O mais importante constituinte do óleo de mamona é ácido ricinoléico e foi obtido um valor de 79,9%, a literatura relata que a média da percentagem da composição do ácido ricinoléico varia entre 85-95(%). Esse ácido atua fortemente nas propriedades físicas e químicas, contribuindo para as propriedades finais tanto do óleo como para o biodiesel. E vale

ressaltar que o tipo de extração por solvente influencia na análise da composição dos ácidos graxos.

Os outros ácidos graxos ficaram um pouco acima da média dos padrões como o ácido palmítico, linoleico e esteárico com valores 3,2%, 8,5% e 2,1%, respectivamente. Os valores dos padrões são para o ácido palmítico é 1 a 0,5%, para o ácido linoleico é 5 a 1% e para o ácido esteárico é 1 a 0,5%, de acordo com alguns trabalhos encontrados na literatura (SCHOLZ & DA SILVA, 2008; DIAS *et al.*, 2013).

Conclusão

Com os dados obtidos da análise da água e do solo da região de mutuca em pesqueira - PE, podemos concluir que a irrigação utilizando esgoto doméstico é viável, porém é necessário algum tratamento físico-químico na água residuária. As concentrações elevadas de sólidos dissolvidos fixos (1044,64 - 997,60) em comparação com sólidos dissolvidos voláteis (237,57-4037,10) indicam água residuária com alta salinidade. Analisando parâmetros de condutividade (uS/cm), pH, SDT (mg/L), SDV (mg/L), SDF (mg/L), fósforo (mg/L), nitrogênio Kjeldhal (mg/L) pode-se constatar que o solo é propício para o cultivo da mamona, o pH com valores entre 6-9 demonstrou que é um solo alcalino sendo indicado para a produtividade da mamona. Os parâmetros de sulfatos (mg/L), alcalinidade total (mg de CaCO_3/L), dureza total (mg de CaCO_3/L), dureza de cálcio (mg/L), dureza de magnésio (mg/L) e cloretos (mg/L) também mostraram a qualidade do solo. A influência da irrigação a partir de esgoto doméstico é constatada através do rendimento das sementes de mamona obtida no processo de extração, onde foi verificado que a cada 40g de sementes para a extração por Soxhlet foi obtido um rendimento entre 46-70% de óleo de mamona. Com base nos resultados de caracterização físico-químicas do óleo de mamona a acidez foi de 0,24 mg KOH/g, o que o classifica como óleo comercial do tipo 1; a densidade a 20°C foi 0,96 g/cm³, a alta viscosidade a 40°C mostrando a presença de triglicérides. As características físico-químicas mostram que foi produzido um óleo com boa qualidade. A análise cromatográfica da composição química em ácidos graxos do óleo de mamona mostrou que os ácidos graxos insaturados estão em níveis mais altos, o ácido ricinoléico foi encontrado em maior quantidade, obtendo um valor de 79,9% caracterizando o óleo da mamona. Os experimentos

com a reação de transesterificação mostraram que o óleo de mamona possui um grande potencial para a produção de biodiesel.

Agradecimentos

Agradecemos a universidade federal de Pernambuco (UFPE) ao desenvolvimento deste trabalho, com o apoio do laboratório de engenharia ambiental e da qualidade (LEAQ), em parcerias com laboratório de combustíveis (LC) e laboratório de cromatografia instrumental (LCI) do departamento de engenharia química.

Referências

AMIN, A.; GADALLAH, A.; EL MORSI, A. K.; EL-IBIARI, N. N.; EL-DIWANI, G. I. Experimental and empirical study of diesel and castor biodiesel blending effect, on kinematic viscosity, density and calorific value. **Egyptian Journal of Petroleum**, 2016.

ASTM – American Society for Testing and Materials. ASTM D 4052 – 1996 (02) e1: Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter. **Annual Book of ASTM Standards**ASTM, 2002.

ASTM – American Society for Testing and Materials. ASTM D 445 – 1997: Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (the Calculation of Dynamic Viscosity). **Annual Book of ASTM Standards**, v. 05.01, 2001.

ASTM – American society for testing and materials. ASTM D 664 – 1995: Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration. **Anual Book of ASTM Standards**, v. 05.01, 2001.

ASTM – American society for testing and materials. ASTM D92 – 12b. “Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester” **Anual Book of ASTM Standards**, v. 05.01, 2001.

ATABANI AE, SILITONGA AS, BADRUDDIN IA, MAHLIA TMI, MASJUKI HH, MEKHILEF S. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renew Sust Energy Rev** 16:2070e93, 2012.

CHEAH, K. W.; YUSUPA, S.; CHUAH, L. F.; BOKHARI, A. Physio-chemical Studies of Locally Sourced Non-Edible Oil: Prospective Feedstock for Renewable Diesel Production in Malaysia. **Procedia Engineering** 148, 451 – 458, 2016.

COMPREHENSIVE CASTOR OIL REPORT. **Tamilnadu: castoroil.in**, 2010.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENT; conjuntura mensal - Mamona^{4º} Levantamento da safra 2015/16 / Conab.Período: janeiro de 2016 Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso: 19 de março de 2017.

DAVIS, J.; O'GRADY, A. P.; DALE, A.; ARTHINGTON, A. H.; GELL, P.A.; DRIVER, P. D.; BOND, N.; CASANOVA, M.; FINLAYSON, M.; WATTS, R. J.; CAPON, S. J.; NAGELKERKEN, I.; TINGLEY, R.; FRY, B.; PAGE, T. J.; SPECHT, A. When trends intersect: The challenge of protecting freshwater ecosystems under multiple land use and hydrological intensification scenarios. **Science of the Total Environment** 534, 65–78, 2015.

DIAS, J.M; Araújo, J.M.;Costa, J.F., Alvim-Ferraz, M.C.M.; Almeida, M.F. Biodiesel production from raw castor oil. **Energy**, v. 53, p. 58-66, 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 353p., 2013.

FERREIRA, N. M., MESQUITA, E. F. DE, SÁ, F. V. DA S., BERTINO, A. M. P., PAIVA, EMANOELA P. DE, & FARIAS, SOAHD A. R. Crescimento e produção da mamoneira BRS Paraguaçu sob irrigação, cobertura do solo e adubação orgânica. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, 19(9), 857-864, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n9p857-864>

HAILEGIORGIS, S. M.; M. AMIRUL HASRAFF, SALEEM NAWAZ KHAN, MOHAMMAD AYOUB. Methanolysis of Castor Oil and Parametric Optimization. **Procedia Engineering** 148, 546 – 552, 2016.

IJAZ, M.; BAHTTI, K. H.; ANWAR, Z.; DOGAR, U. F.; IRSHAD, M. Production, optimization and quality assessment of biodiesel from *Ricinus communis* L. oil. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences** 9, 180-184, 2016.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, E. P.; SOARES, L. A. A.; ALVES, A. N. Teor de óleo e produtividade da mamoneira de acordo com a adubação nitrogenada e irrigação com água salina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.991-999, 2012. [http:// dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000700016](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000700016)

PREGNOLATTO, W; PREGNOLATTO, N. P. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz, Volume 1, Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos, 3.^a Edição. Secretaria Estadual da Saúde, São Paulo, SP, 533 p., 1985.

RIBEIRO, M. C. F.; ROCHA, F. A.; SANTOS, A. C.; SILVA, J. O.; PEIXOTO, M. F. S. P.; PAZ, V. P. S. Crescimento e produtividade da mamoneira irrigada com diferentes diluições de esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.639- 646, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000600008>

SEVERINO, LIV S.; AULD, DICK L.; BALDANZI, MARCO; CÂNDIDO, MAGNO J. D.; CHEN, GRACE; CROSBY, WILLIAM; TAN, D; HE, XIAOHUA; LAKSHMAMMA, P.; LAVANYA, C.; MACHADO, OLGA L. T.; MIELKE, THOMAS; MILANI, MÁIRA; MILLER, TRAVIS D.; MORRIS, J. B.; MORSE, STEPHEN A.; NAVAS, ALEJANDRO A.; SOARES, DARTANHÃ J.; SOFIATTI, VALDINEI; WANG, MING L.; ZANOTTO, MAURÍCIO D.; ZIELER, HELGE. A Review on the Challenges for Increased Production of Castor. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 4, p. 853-880, 2012.

SCHOLZ V, DA SILVA JN. Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. **Biomass Bioenergy**; 32:95e100, 2008.

SOUZA, N. C.; MOTA, S. B.; BEZERRA, F. M. L.; AQUINO, B. F.; SANTOS, A. B. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.478-484, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000500004>

VALDEZ-AGUILAR, L.A, REED, D.W. Growth and nutrition of young bean plants under high alkalinity as affected by mixtures of ammonium, potassium, and sodium. **Journal of Plant Nutrition**, n.33, p.1472-1488, 2010.