



Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado

Neyliane C. de Souza¹, Suetônio B. Mota^{1,*}, Francisco M. L. Bezerra², Boanerges F. de Aquino³ & André B. dos Santos¹

RESUMO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.), oleaginosa de relevante importância econômica e social no Nordeste, apresenta-se como alternativa para a produção do biodiesel. O experimento objetivou avaliar, em escala real, os aspectos produtivos da cultura da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. Empregou-se o sistema de microaspersão; a delimitação experimental foi de quatro repetições e quatro tratamentos: T1: água do poço e adubação recomendada; T2: esgoto doméstico tratado e adubação recomendada; T3: somente esgoto doméstico tratado e T4: esgoto doméstico tratado e metade da adubação recomendada. Verificou-se que as unidades irrigadas com esgoto tratado superaram as irrigadas com água, em quase todas as variáveis analisadas. A produtividade foi maior nos tratamentos irrigados com esgoto e adubação (T2) e (T4), alcançando produtividade de 1.986 e 1.412 kg ha⁻¹, respectivamente. O teor de óleo contido nas sementes foi analisado e não apresentou nenhuma diferença significativa entre os tratamentos com adubação (T1, T2 e T4), sendo que o tratamento com esgoto tratado (T3) forneceu baixíssimos teores de óleo na semente.

Palavras-chave: *Ricinus communis*, reúso, biodiesel, produção

Productivity of castor bean irrigated with treated domestic sewage

ABSTRACT

The castor bean (*Ricinus communis* L.), an oil crop of economic and social importance for the Northeast region of Brazil, can be used for biodiesel production. The experiment aimed to evaluate, at a realistic scale, the productive aspects of the castor bean irrigated with treated sewage. Microsprinkler irrigation method was selected, and the experimental set-up consisted of four repetitions and four different treatments: well water and recommended fertilization (T1); treated wastewater and recommended fertilization (T2); treated wastewater without external recommended fertilization (T3); and treated wastewater and half of recommended fertilization (T4). It was found that units irrigated with treated sewage exceeded the ones irrigated with well water in almost all variables. The highest productivities were in the treatments with wastewater and fertilization (T2) and wastewater and half of recommended fertilization (T4), reaching 1,986 and 1,412 kg ha⁻¹, respectively. The castor seeds oil content was also investigated, no significant difference among the treatments with recommended fertilization (T1, T2 and T4) was verified. The treatment tested with effluent without recommended fertilization (T3) provided very low oil content in the seeds.

Key words: *Ricinus communis*, reuse, biodiesel, production

¹ Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental/UFCEG; Campus do Pici, bloco 713, CEP 60451-970, Fortaleza, CE. Fone: (85) 3366-9777. E-mail: neylianecs@yahoo.com.br; suetonio@ufc.br; andre23@ufc.br

² Departamento de Irrigação e Drenagem/UFCEG; Campus do Pici, bloco 804, CEP 60450-760, Fortaleza, CE. Fone: (85) 3366-9758. E-mail: mbezerra@ufc.br

³ Departamento de Solos/UFCEG, Campus do Pici, bloco 807, CEP 60021-970, Fortaleza, CE. Fone: (85) 3366-9686. E-mail: aquino@ufc.br

INTRODUÇÃO

O crescimento rápido na demanda e a alta qualidade para a água, acoplada com a falta natural e limitações contínuas na fonte, aceleram a busca para fontes alternativas desse recurso (Oron et al., 1999). Atualmente, procura-se estudar o reúso de efluentes de esgotos domésticos na agricultura objetivando-se manter o equilíbrio em relação aos aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos naturais, contribuindo para a sustentabilidade humana e ambiental (Leite et. al., 2005) A agricultura é tipicamente considerada um dos campos onde a irrigação de culturas com esgoto tratado apresenta grande potencial, sobretudo para o desenvolvimento agrícola em áreas áridas e semiáridas (Lubello et. al., 2004).

A mamoeira (*Ricinus communis* L.) é uma planta rústica, heliófita, resistente à seca e encontrada em diversas regiões do País. Produz quantidade considerável de biomassa (20 t ha⁻¹) as folhas podem servir de alimento para o bicho da seda as hastes contêm celulose para fabricação de papel e, das sementes, são obtidos óleo e torta rica em proteína (Cavalcanti et. al., 2005). Atualmente, uma das principais aplicações da mamona diz respeito à obtenção do biodiesel, produto da reação do óleo de mamona com um álcool reagente, na presença de um agente catalisador.

No que se refere ao seu potencial para a produção de biodiesel, a mamona é considerada excelente, devido ao seu alto teor de óleo, da ordem de 48 a 50% (Carneiro, 2003); sua produção é praticada normalmente, por pequenos produtores, em geral consorciada com outras culturas e se utilizando pouco agrotóxico, além de se adaptar perfeitamente às regiões semiáridas do Nordeste.

Apesar de considerada uma atividade de pequenos produtores, algumas ações do governo brasileiro vêm mudando este cenário. Através de estímulos para a cultura da mamona no Nordeste do Brasil, o governo pretende criar condições para o desenvolvimento da região. Nesta parte do Brasil, há quase 4 milhões de ha com características edafoclimáticas apropriadas, em que se alcançaria o rendimento de até 1,5 t de sementes por hectare enquanto a média anual é de apenas 750 kg (Freitas & Fredo, 2005). A meta de produção de biodiesel foi dimensionada com base na erradicação da miséria do nordeste brasileiro, ocupando dois milhões de famílias, que convivem com a fome.

O reúso de águas na irrigação da mamona pode ser um incentivo a mais para a implementação desse Programa, cujo uso pode ser difundido em toda a região do semiárido brasileiro, significando um aumento na oferta de água para este fim.

Nesta pesquisa foram avaliados, em escala real, os aspectos produtivos da cultura da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado, em diferentes tipos de adubação, quando comparado a um controle com água bruta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em uma área anexa à Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Cidade de Aqui-

raz, na Região Metropolitana de Fortaleza, de propriedade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

A matéria orgânica (esterco curtido) foi incorporada ao solo um mês antes do plantio, enquanto a adubação foi realizada no dia do plantio. As adubações de cobertura foram realizadas após 30, 60 e 90 dias do plantio. De posse dos resultados das análises de fertilidade de amostras do solo e dos dados de exigência da cultura, aplicou-se a formulação para os macronutrientes N-P-K de 10-28-20, respectivamente, sendo 150 g por planta para adubação completa e 75 g por planta para metade da adubação. Selecionou-se, como fonte de micronutrientes, o produto FTE BR 12, aplicado na quantidade de 20 g por planta em todos os tratamentos. A adubação de cobertura foi feita com 50 g sulfato de amônio e sulfato de potássio para adubação completa e 25 g para a metade da adubação.

A área total para o plantio da mamona, de aproximadamente 1.500 m² (25,5 x 59 m) foi subdividida em quatro blocos de 308 m² (11 x 28 m), com espaçamento entre eles de 3 e 3,5 m; cada bloco continha 10 linhas de plantio com 6 plantas, isto é, um tratamento aplicado em cada duas linhas de plantio, totalizando uma população de 240 plantas na área.

Os tratamentos aplicados constavam de quatro repetições, os quais são descritos a seguir: irrigação com água bruta e adubação do solo (T1); irrigação com esgoto tratado e adubação do solo (T2); irrigação com esgoto tratado sem adubação (T3) e irrigação com esgoto tratado e a metade da adubação (T4).

O sistema de irrigação do tipo microaspersão foi selecionado principalmente com o objetivo de minimizar o risco de contaminação do irrigante. A linha lateral se constituiu de tubos de polietileno, sendo as linhas principais e as de derivação constituídas em PVC. Os comprimentos das linhas laterais, de derivação e principal, foram de 30, 60 e 10 m, respectivamente, e os espaçamentos dos microaspersores, de 2 m. Utilizaram-se no total seis microaspersores por linha lateral, com vazão de 88 L h⁻¹; o tempo real de irrigação por turno de rega foi de um dia, que correspondia a aproximadamente 1 h e 22 min.

Testou-se a cultivar de mamona BRS 149 Nordestina, desenvolvida pela Embrapa. As covas foram abertas com profundidade média de 5 cm, sendo colocadas duas sementes por cova; procedeu-se a um desbaste 20 dias após a emergência; a altura da planta foi monitorada durante seis semanas, a partir de 51 dias decorridos da semeadura, com dados de uma planta selecionada por tratamento.

Realizou-se a colheita após três meses da floração, a partir da qual a cada 15 dias eram feitas amostras, no total de sete colheitas; os cachos eram colhidos e separados por tratamento e blocos e, posteriormente, expostos ao sol; após a secagem os frutos eram contados e as sementes extraídas e, em seguida, ensacadas, pesadas e armazenadas em condições naturais e temperatura ambiente.

Avaliaram-se, como variáveis de controle, os dados referentes aos componentes da produtividade: quantidade de racemo, quantidade de frutos, tamanho do racemo e produtividade total; para a quantidade de racemo e frutos utilizou-se

o método de contagem manual, enquanto o tamanho do racemo foi medido através de fita métrica.

Obtenção do óleo

Utilizaram-se, para a extração do óleo, aproximadamente 200 g de sementes trituradas, em virtude de se tratar de escala laboratorial. As análises de obtenção de óleo das sementes da mamona não trazem resultados que permitam uma comparação com a escala industrial, pelo fato da indústria utilizar o filtro prensa que extrai mecanicamente. O óleo pode ser extraído por prensagem mecânica, extração com solventes ou, ainda, pelo uso combinado dos dois processos. Considerando que a prensagem retira em torno de 35% do óleo presente, a sua combinação com o uso de solvente se torna muitas vezes interessante para uma extração mais eficaz. Entre os solventes orgânicos mais utilizados para este fim, estão o heptano, hexano e éter de petróleo (Ogunniny, 2006)

Extração a quente

Determinou-se o teor de lipídios para cada tratamento utilizando-se o método Soxhlet da AOAC (1990), segundo o qual os 200 g de sementes trituradas eram colocados em cartucho de papel de filtro, no sistema montado para a extração. Com o aquecimento e volatilização de 1.200 mL de solvente hexano e posterior condensamento e circulação através da amostra, ocorreu o carregamento do material que nele se solubiliza. O hexano foi destilado e coletado em um rota- evaporador de marca BÜCHI, modelo waterbath B-480, o lipídio remanescente foi pesado e os resultados expressos em percentagem; por fim, o tempo utilizado para extração foi de seis horas.

Extração a frio

Em um erlenmeyer foram colocados aproximadamente 200 g de sementes moídas em 350 mL de solvente hexano em repouso, durante 48 h. Decorrido o tempo de extração, o extrato foi filtrado com funil e algodão; o hexano foi removido e coletado da mesma forma da extração a quente.

A percentagem de óleo nas sementes varia bastante, dependendo do ambiente de cultivo e da cultivar estando, em geral, entre 40 e 60%. Um valor mais apropriado entre 45 e 50% é adotado para se ter o equilíbrio entre o teor deste produto como um todo, sendo o teor do ácido graxo ricinoléico de pelo menos 89% do total do óleo (Beltrão, 2003).

Insaponificável

Utilizou-se a metodologia descrita por Hortman & Lago (1973). Em um sistema de refluxo montado, aproximadamente 1 g de óleo foi misturado com 1 g de KOH e 16 mL de metanol, durante 2 h. O insaponificável foi separado com um funil de separação com hexano e água, em que o cálculo foi expresso em percentagem de insaponificável.

Ésteres metílicos

O método utilizado foi o descrito por Hortman & Lago (1973), para esterificação dos ácidos graxos em ésteres metílicos. Após a separação do insaponificável os sais de ácidos graxos obtidos foram acidificados e separados com funil de separação da fase aquosa. A fase orgânica obtida, ou seja, os ácidos livres foram para o refluxo por mais 1 hora, com solução de 10% de HCl e metanol. Os ésteres metílicos obtidos foram concentrados após a evaporação do solvente e todos os resultados expressos em percentagem.

Óleo fixo

Os ésteres metílicos concentrados foram transferidos para uma coluna com gel de sílica e separados em frações, depois detectados por cromatografia de camada delgada (CCD) ou planar. As frações detectadas em CCD foram unidas e pesadas. Partindo-se do percentual de ésteres metílicos obtidos, encontrou-se o teor de óleo fixo em gramas (AOAC, 1990)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação do sistema de irrigação

Um coeficiente de uniformidade (CU) de 89,5% foi obtido para o sistema com esgoto tratado e de 88,9% para o sistema com água bruta. Obtiveram-se vazões médias de 54,7 e 65,8 L h⁻¹, respectivamente, para o esgoto tratado e água bruta. A diferença nos valores médios da vazão se deveu ao número de linhas laterais irrigadas sendo que a irrigação com água bruta foi feita apenas em duas linhas laterais (representando um tratamento) e a irrigação com esgoto tratado feita com oito linhas laterais (representando três tratamentos).

Esses resultados demonstram que o sistema de irrigação teve boa uniformidade de aplicação de água, tanto para o esgoto tratado quanto para a água bruta, observando-se que, na prática, o limite mínimo do coeficiente de uniformidade aceitável em sistemas de irrigação localizada é de 80%.

Desenvolvimento da cultura

Observou-se, após a segunda colheita, uma mudança na cor do caule de algumas plantas, que de verde passaram a roxo. A cultivar BRS 149 Nordeste apresenta caule verde, porte médio, frutos semi-indescentes, racemo cônico com tamanho médio entre 30 e 35 cm e produtividade média de 1500 kg ha⁻¹ (Beltrão, 2004). A mudança de coloração de caule ocorreu devido, provavelmente, a fatores genéticos em interação com fatores ambientais.

Segundo Beltrão (2004), a mamona é fotoperiódica, de dias longos, tem grande variabilidade de expressão sexual, mais de sete tipos, é sensível à nebulosidade e a outros fatores da atmosfera, além do peso genético na definição do sexo e sua expressão. O maior percentual se concentrou na cultivar de caule roxo, em torno de 61%, entretanto, apesar de

Tabela 1. Altura média alcançada pelas plantas em função dos tratamentos e dados da função exponencial. Aquiraz, CE

Amostra	Altura da planta (m)			
	T1	T2	T3	T4
1	32,6	33,2	25,6	22,9
2	49,4	44,5	40,4	35,4
3	81,8	62,0	48,0	43,5
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	163,3	176,5	154,8	155,9
Função Exponencial	$Y = 26,431 e 0,3154 x$	$Y = 23,077 e 0,337 x$	$Y = 18,255 e 0,353 x$	$Y = 15,465 e 0,3802 x$
R ²	0,9656	0,9989	0,9905	0,9918

sua maior concentração, foi avaliada somente a cultivar BRS 149 Nordestina, por ser uma espécie de produtividade já estudada e com dados na literatura.

Tem-se, na Tabela 1, os dados referentes à média das plantas, por tratamento, com análise do comportamento dos dados, em função exponencial, coletados a partir de 51 dias decorridos da semeadura, com informações referentes a uma planta selecionada por bloco.

Na Tabela 1 observa-se que a mamoneira apresentou crescimento exponencial, ou seja, a curva obtida para os dados de altura se ajustou ao modelo de regressão não linear com comportamento exponencial, independente do tratamento aplicado. No tratamento com esgoto tratado e adubação recomendada (T2), verificou-se um crescimento acelerado após 50 dias da semeadura ou emergência das plântulas, e se constatou que a maior altura média da planta foi alcançada no tratamento (T2), atingindo-se valores superiores a 190 cm após 100 dias de ciclo. Tal comportamento é um indicativo de que a presença de adubação potencializou o crescimento da mamoneira.

Produtividade de racemos

Após 50 a 60 dias da emergência surgiram os primeiros racemos ou cachos de primeira ordem. De acordo com Beltrão (2003), a haste principal cresce verticalmente sem ramificação até o surgimento da primeira inflorescência, que tem a denominação, depois das flores, de cacho ou racemo. Os frutos têm número variável, e dependem tanto da cultivar quanto de fatores ambientais como fertilidade do solo, precipitação pluvial, temperatura, pragas, doenças etc. Uma planta foi selecionada por tratamento e a produtividade mais próxima da média geral foi escolhida para expressar a produtividade por planta.

Em cada tratamento foi selecionada uma planta da cultivar BRS-149 Nordestina, para a tomada dos dados. A quantidade média de racemos por planta dos quatros tratamentos é mostrada na Figura 1.

Segundo Nóbrega et al. (2001), o número de racemos por planta é considerado baixo quando menor que 3; médio, de 3 a 7, e alto quando maior que 7. Com isto, se verifica que o tratamento com efluente e adubação recomendada (T2) obtiveram classificação “alta”; já os outros tratamentos foram classificados como “médio”.

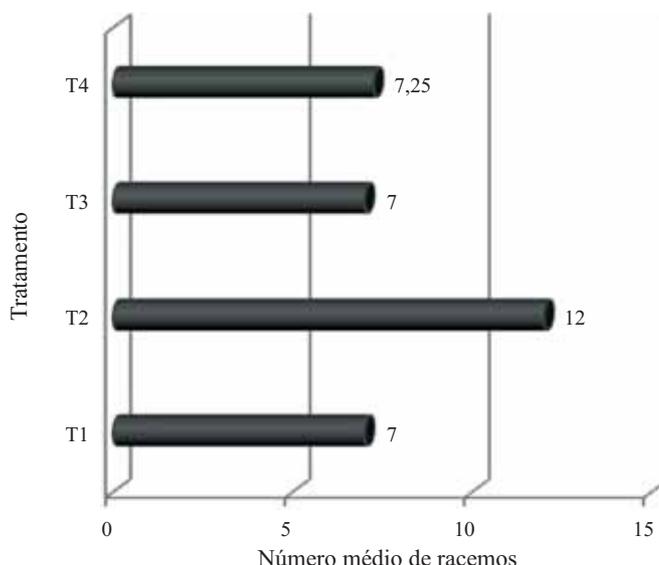


Figura 1. Número médio de racemos por planta em cada tratamento da mamoneira. Aquiraz, CE

Na Tabela 2 se encontra o resumo da análise de variância da produtividade de racemos e seus componentes, número de racemos, comprimento dos racemos, massa de 100 sementes e número de frutos da mamoneira.

Observou-se que os tratamentos influenciaram significativamente ($p \leq 0,05$) a produtividade (PD), o número de racemo (NR) e o número de frutos (NF) da mamoneira (Tabela 3).

A produtividade de racemos do tratamento com esgoto tratado e adubação recomendada (T2), foi significativamente superior à alcançada no tratamento com água e adubação recomendada (T1), não diferindo dos tratamentos T3 e T4; aliás

Tabela 2. Resumo das análises de variância, da produtividade de racemos (PD) e seus componentes: número de racemos (NR), massa de 100 sementes (M100S), número de frutos (NF), comprimento do racemo (CR) da mamoneira irrigada em função dos tratamentos. Aquiraz, CE

FV	GL	Quadrado médio				
		PD	NR	CR	M100S	NF
Tratamento	3	948423,28*	24,23*	7,64 ^{ns}	21,56 ^{ns}	92147,41*
Repetição	3	443126,41 ^{ns}	20,06 ^{ns}	1,17 ^{ns}	44,84 ^{ns}	8127,75 ^{ns}
Resíduo	9	153217,91	4,73	23,01	23,34	11396,47
Média		1368,32	8,31	44,22	64,24	387,37
C.V.(%)		28,61	26,16	10,85	7,52	27,56

Significativo a 0,05(*) de probabilidade (^{ns}) não significativo

Tabela 3. Valores médios da produtividade de racemos (PD), número de racemos (NR) e número de frutos (NF) da mamoneira. Aquiraz, CE

Tratamento	PD	NR	NF
Água + adubação	955,05 a	7,0 a	250,50 a
Esgoto + adubação	2073,87 b	12,0 b	604,50 b
Esgoto	1224,20 ab	7,0 a	349,75 a
Esgoto + 1/2 adubação	1220,17 ab	7,3 ab	344,75 a

Em cada coluna médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Turkey

(T1) só diferiu significativamente de (T2). Estudos realizados com fertilização química, por Severino et al. (2005), revelaram aumento de produtividade de 63% entre os tratamentos com e sem adubação. Relacionando-se o número de racemos na Tabela 3, do tratamento com esgoto tratado e adubação (T2) com a sua produtividade, observou-se que neste tratamento o número de racemos é o único com classificação “alta”, revelando sua maior produtividade.

A produtividade média das sementes de mamona é mostrada na Figura 2.

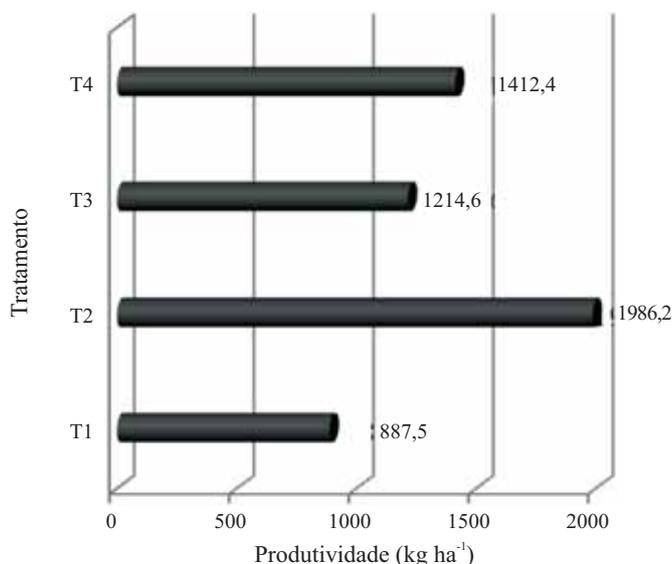


Figura 2. Produtividade da mamona em kg ha⁻¹ por planta. Aquiraz, CE

A maior produtividade se deu no tratamento com esgoto tratado e adubação recomendada (T2). A maior produtividade de racemos obtida neste tratamento foi refletida pelos números de racemos e de frutos (Tabela 3). Ademais, os outros tratamentos (T3 e T4) que utilizam esgoto tratado na irrigação apresentam produtividade maior que a alcançada pelo tratamento com água e adubação recomendada (T1). Segundo Beltrão et al. (2003), a cultivar BRS 149 Nordestina tem, em regime de sequeiro, produtividade média entre 1000 e 1500 kg ha⁻¹, dependendo das chuvas do ano e do local de produção.

Cavallet et al. (2006) ao estudarem o efeito da utilização de água residuária no solo em experimentos de campo, observaram melhoria da fertilidade do solo, e um incremento na produção de grãos de milho em todos os tratamentos, aos quais se aplicou a água residuária devido à presença de nutrientes.

Comparando os valores obtidos no experimento, constatou-se que, sem dúvida, a produção do tratamento com água e adubação recomendada (T1) é inferior à média da produtividade, em anos normais. A produtividade foi obtida apenas nos tratamentos que receberam esgoto tratado na irrigação e adubação do solo. Silva et al. (2007) avaliaram a adubação com macro e micronutrientes na cultura da mamona e concluíram que a adubação promoveu aumento de produtividade da cultivar BRS Nordestina, com destaque para

a adubação nitrogenada; neste último experimento, o teor de óleo foi influenciado positivamente pelo aumento das doses de fósforo.

Obtenção do óleo

Na Tabela 4 se encontram os percentuais e o teor de óleo para cada tratamento obtido, nos dois métodos de extração empregados.

Tabela 4. Rendimentos médios da extração do óleo da mamona. Aquiraz, CE

Trat.	Óleo obtido (g)				% de óleo	
	A quente	dp	A frio	dp	A quente	A frio
T1	57,0	1,09	6,83	0,02	28,5	3,4
T2	57,4	1,55	6,35	0,08	28,85	3,2
T3	9,0	1,41	4,74	0,34	4,5	2,4
T4	48,6	0,17	6,48	0,5	24,3	3,2

* dp - desvio padrão

O rendimento obtido na extração de óleo a quente foi bem superior ao encontrado na extração a frio, apesar do tempo de contato do solvente ter sido maior na extração a frio. O baixo rendimento se deu em razão do solvente hexano extraí-lo melhor em elevadas temperaturas, ou seja, a elevação da temperatura faz com que a semente libere mais óleo. O percentual de óleo obtido na extração a quente ficou bem próximo nos tratamentos T1, T2 e T4. Tal observação demonstra que a utilização de esgoto tratado na irrigação da mamona não interferiu no rendimento de óleo da semente e os maiores percentuais de rendimento obtidos, foram atribuídos aos tratamentos que receberam a adubação recomendada.

O tratamento que utiliza apenas irrigação com esgoto (T3) apresentou valores de rendimento muito abaixo dos demais. Sinal de que os nutrientes contidos no esgoto tratado não foram suficientes para suprir a semente.

Encontram-se, na Tabela 5, os percentuais de ésteres metílicos e insaponificáveis e o teor de óleo fixo obtido em cada tratamento.

Tabela 5. Composição do óleo da mamona após a reação de conversão dos ácidos graxos. Aquiraz, CE

Tratamento	% insaponificável		% de ésteres metílicos		Óleo fixo obtido (g)	
	A quente	A frio	A quente	A frio	A quente	A frio
T1	1,48	1,75	30,51	20,33	17,4	1,39
T2	1,43	2,64	29,45	21,94	17,0	1,39
T3	1,26	2,85	30,11	15,27	2,69	0,73
T4	1,04	2,22	26,12	21,29	12,7	1,27

Para obtenção dos ésteres de ácidos graxos ou ésteres metílicos, principais constituintes do biodiesel, utilizou-se o metanol como agente de transesterificação. Para Cardone et al. (2003), os óleos vegetais são compostos principalmente de ésteres glicérides de ácidos graxos (triglicéride-

os). O biodiesel é obtido pela transesterificação, reação química dos triglicerídeos com um álcool, formando ésteres e glicerol. Um catalisador é utilizado para aumentar a velocidade da reação e seu rendimento (Ma & Hanna, 1999). A estequiometria da reação consiste em 3 mols de álcool para 1 mol de triglicerídeo mas, na prática, excesso de álcool é utilizado para aumentar o rendimento na formação de ésteres. O rendimento é afetado pela temperatura de reação, tipo e concentração do catalisador e razão molar etanol/óleo vegetal (Encimar et al., 2002).

A percentagem de ésteres metílicos mostrada na Tabela 5 é bem superior ao percentual insaponificável, ou seja, a semente contém a maior parte em ácidos graxos, como previsto. Segundo Conceição et al. (2007), o óleo da mamona é um triglicerídeo derivado do ácido ricinoléico o qual se constitui de 90% de ácidos graxos presentes na molécula e de 10% de ácidos graxos não hidroxiláveis, principalmente por ácidos oléicos e linoléicos. A presença acentuada de um único tipo de ácido graxo na composição dos triglicerídeos é uma característica interessante do óleo da mamona.

O percentual de ésteres metílicos para os tratamentos esteve em torno de 30% para o óleo obtido na extração a quente e de 20% para a extração a frio (Tabela 5). O percentual de insaponificável foi bem maior no óleo extraído a frio e bem menor na obtenção de ésteres metílicos. A extração a frio mostrou que a obtenção de óleo fica a desejar, tanto no rendimento do óleo quanto na composição de ácidos graxos.

Para os tratamentos que utilizaram a água (T1) e o esgoto com adubação recomendada (T2), o óleo fixo teve maior valor em virtude da maior quantidade de óleo na extração a quente, sendo que tal incremento na produção de óleo está vinculado, sem dúvida, à adubação mineral adicionada ao solo.

CONCLUSÕES

1. A irrigação com esgoto doméstico tratado contribuiu para o aumento da produtividade da mamona.
2. Os nutrientes contidos no esgoto tratado não são suficientes para aumentar a produção em comparação com a adubação recomendada.
3. A mamona apresenta crescimento exponencial com relação à altura das plantas, em todos os tratamentos.
4. A produção de racemo é superior no tratamento que emprega efluente e adubação completa (T2).
5. Entre os tratamentos, o menor percentual de óleo foi obtido no tratamento (T3); os rendimentos de ésteres foram superiores para extração a quente e o teor de óleo fixo foi maior nos tratamentos com adubação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos que colaboraram no desenvolvimento da pesquisa, em especial, à Companhia de Água e Esgoto do Ceará, à FINEP, PROSAB, CNPq e CT-Hidro.

LITERATURA CITADA

- AOAC – Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 15.ed. Arlington: AOAC, 1990. 684p.
- Beltrão, N. E. de M. Informações sobre o biodiesel, em especial feito com o óleo de mamona. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. 3p. Comunicado Técnico, 177.
- Beltrão, N. E. de M. A cadeia da mamona no Brasil, com ênfase para o segmento P&D: estado da arte, demandas de pesquisa e ações necessárias para o desenvolvimento. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 19p.
- Cardone, M.; Mazzoncini, M.; Menini, S.; Rocco, V.; Senatore, A.; Seggiani, M.; Vitolo, S. Brassica carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: Agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. *Biomass and Bioenergy*, v.25, n.6, p.623-636, 2003.
- Carneiro, R. A. F. A produção do biodiesel na Bahia. *Revista Conjuntura e Planejamento*, n.112, p.35-43, 2003.
- Cavalcanti, M. L. F.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Barros Júnior, G.; Soares, F. A. L. Siqueira, E. da C. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: Germinação e características de crescimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.57-61, 2005.
- Cavallet, L. E.; Lucchesi, L. A. C., Moraes, A. de M.; Schmidt, E.; Perondi, M. A.; da Fonseca, R.A. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residuária da indústria de enzimas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.724-729, 2006.
- Conceição, M. M.; Roberlúcia, A. C.; Silva, F. C.; Bezerra, A. F.; Fernandes, V. F. Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v.11, n.5, p.964-975, 2007.
- Encimar, J. M.; González, J. F.; Rodriguez, J. J.; Tejedor, A. Biodiesel fuels from vegetable oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. oils with ethanol. *Energy & Fuels*, v.16, p.443-450, 2002.
- Freitas, S. M. de.; Fredo, C. E. Biodiesel à base de óleo de mamona: algumas considerações. *Revista Informações Econômicas*, v.35, n.1, p.37-42, 2005.
- Hortman, L.; Lago, R. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Laboratory Practice*, v.22, p.475-76, 1973.
- Leite, V. D.; Athayde Júnior, G. B.; de Sousa, J. T.; Lopes, W. S.; Prasad, S.; Silva, S. A. Tratamento de águas residuárias em lagoas de estabilização para aplicação na fertirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.71-75, 2005.
- Lubello, C.; Gori, R.; Nicese, F. P.; Ferrini, F. Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. *Water Research*, v.38, p.2939-2947, 2004.
- Ma, F.; Hanna, M. A. Biodiesel production: A review. *Bioresource Technology*, v.70, p.1-15, 1999.
- Nóbrega, M. B. de M.; Andrade, F. P.; Santos, J. W.; Leite, E. J. Germoplasma In: Azevedo, D. M. P.; Lima, E. F. (ed.) O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: EMBRAPA, 2001. cap.11, p.257-280.
- Ogunniny, D. S. Castor oil: A vital industrial raw material. *Bioresource Technology*, v.97, n.9, p.1086-1091, 2006.

Oron, G.; Campos, C.; Gillermana, L.; Salgot, M. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. *Agricultural Water Management*, v.38, p.223-234, 1999.

Severino, L. S.; Moraes, C. R. de A.; Ferreira, G. B.; Cardoso, G. D.; Gondim, T. M. de S.; Beltrão, N. E. de M.; Viriato, J. R.

Crescimento e produtividade da mamoneira sob fertilização química em região semiárida. Campina Grande: Embrapa Algodão, n.62, 2005. 19p. Boletim de pesquisa e desenvolvimento
Silva, T. R. B. da; Leite, V. E.; Silva, A. R. B. da; Viana, L. H. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.9, p.1357-1359, 2007.