

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CIÊNCIA AMBIENTAL**

**JOILDO CÉSAR RODRIGUES DE LIMA**

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO GERGELIM**  
**BRS SEDA IRRIGADO COM NÍVEIS DE ÁGUAS RESIDUÁRIA**  
**E DE ABASTECIMENTO**

Campina Grande

2011

---

**JOILDO CÉSAR RODRIGUES DE LIMA**

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO GERGELIM  
BRS SEDA IRRIGADO COM NÍVEIS DE ÁGUAS RESIDUÁRIA  
E DE ABASTECIMENTO**

Dissertação apresentada ao Mestrado de  
Ciência e Tecnologia Ambiental da  
Universidade Estadual da Paraíba, em  
cumprimento aos requisitos necessários  
para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. **José Fideles Filho**

Campina Grande

2011

---

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

L732c      Lima, Joildo César Rodrigues de.  
Crescimento e desenvolvimento do gergelim *Brs Seda* irrigado com níveis de água residuária e de abastecimento [manuscrito] / Joildo César Rodrigues de Lima. – 2011.  
61 f. : il. color.

Digitado

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba, 2011.

“Orientação: Prof. Dr. José Fideles Filho, Departamento de Física”.

1. Produção Agrícola. 2. Adubação. 3. Reutilização da Água. 4. Sustentabilidade. I. Título.

21. ed. CDD 634

**JOILDO CÉSAR RODRIGUES DE LIMA**

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO GERGELIM  
BRS SEDA IRRIGADO COM NÍVEIS DE ÁGUAS RESIDUÁRIA  
E DE ABASTECIMENTO**

Aprovada em: 18 de fevereiro de 2011

**BANCA EXAMINADORA**



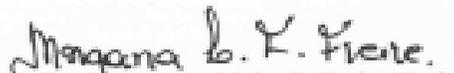
Prof. Dr. José Fideles Filho

Orientador



Prof. Dr. Lourivaldo Mota Lima

Examinador Interno



Prof. Dra. Morgana Lígia de Farias Freire

Examinadora Externa

## **OFEREÇO E DEDICO**

A minha avó, Josefa Marques da Silva (*in memoriam*), pela figura que representou e representa em minha formação moral e ética.

---

## AGRADECIMENTOS

A Deus, inteligência suprema e causa primária de todas as coisas;

A minha esposa, Joana D'arc Veras Fontes, e meus filhos, Júlio César Fontes de Lima e Juliana Fontes de Lima, pelo carinho, apoio e presenças constantes;

Aos meus pais e irmãs, pela atenção e desprendimento a mim dirigidos;

Ao meu orientador José Fideles Filho, pelo direcionamento, orientação e atenção dispensados;

A coordenação e professores do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, em especial aos Prof. Dr. Lourivaldo Mota Lima, pelos conhecimentos técnicos e científicos transmitidos;

Aos professores do Departamento de Física da UEPB, em destacando a Profa. Dra. Morgana Lígia de Farias Freitas pelas lições transmitidas.

A todos que contribuíram para a fomentação desse trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

---

“A manutenção da vida na Terra só poderá ser conseguida mediante o expurgo da ameaça da poluição térmica e da poluição química.”  
(GOLBENBERG, 1978)

---

LIMA, J. C. R. **Crescimento e desenvolvimento do gergelim BRS Seda Irrigado com níveis de água residuária e de abastecimento.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

## RESUMO

A região semiárida é caracterizada pelo baixo índice pluviométrico, chuvas irregulares, alta taxa de evaporação e solos com deficiência de nutrientes essenciais. Nesse contexto o reuso planejado da água de esgoto doméstico é uma alternativa para produção de alimentos por servirem como adubo natural, gerando retorno econômico e reduzindo a poluição ambiental. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e produção do cultivar gergelim BRS Seda irrigado com água de abastecimento e residuária. O experimento foi conduzido sob condições de campo, na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos - EXTRABES, no município de Campina Grande - PB. Sendo utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com sete tratamentos e cinco repetições seguindo o arranjo fatorial  $2 \times 3 + 1$ , totalizando 35 unidades experimentais. As unidades experimentais foram representadas por vasos de polietileno com capacidade de 30 litros e contendo 32 kg de solo seco ao ar. Os tratamentos utilizados foram: uma testemunha absoluta irrigada com água de abastecimento sem adubo mineral, três doses de água residuária decantada proveniente de esgoto doméstico e três doses de adubo mineral N, P e K com base nas quantidades de  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  e irrigada com água de abastecimento. O gergelim apresentou maiores médias de área foliar, altura, diâmetro caulinar, matéria seca, rendimento de grãos e peso de 100 grãos, quando irrigado com água residuária decantada, nos tratamentos T3 – irrigação com 70% de água proveniente de esgoto doméstico e 30% de água de abastecimento e T2 – irrigação com água proveniente de esgoto doméstico, indicando que o uso de esgotos domésticos é uma boa fonte de nutrientes e que proporcionou um efeito positivo no crescimento e desenvolvimento das plantas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gergelim (*sessamum indicum* L.); Água residuária; Adubação mineral.

LIMA, J. C. R. **Growth and development of irrigated sesame Silk BRS levels of wastewater and water supply.** Dissertation (Master of Environmental Science and Technology) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

### **ABSTRACT**

The semiarid region is characterized by low rainfall, erratic rainfall, high evaporation and soil deficient in essential nutrients. In this context, the planned reuse of sewage water is an alternative to food production as they serve as natural fertilizer, generating economic returns and reducing environmental pollution. This study aimed to evaluate the growth and yield of sesame cultivar BRS irrigated with water supply and wastewater. The experiment was conducted on field conditions at the Experiment Station of Biological Wastewater Treatment - EXTRABES, in Campina Grande - PB. It was used a completely randomized design (CRD), arranged in a factorial  $2 \times 3 + 1$ , totaling 35 experimental units, the experimental unit was represented by polyethylene vessels with capacity of 30 liters and containing 32 kg of dry soil to air. The treatments were: a control treatment irrigated with water supply, three doses of decanted wastewater from domestic sewage and three doses of mineral fertilizer (N, P and K) based on quantities of 15 kg ha<sup>-1</sup> of N, 60 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 50 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. The sesame showed higher average height, stem diameter, leaf area, dry matter and grain yield when irrigated with wastewater decanted, in T3 - 70% of irrigation water from domestic sewage and 30% water supply and T2 - irrigation with water from sewage, indicating that the use of domestic sewage is a good source nutrients, which provided a positive effect on growth and development of plants.

**KEY-WORDS:** Sesame (*sessamum indicum* L.); Wastewater; Mineral Fertilization.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classe de aptidão para cultura do gergelim	8
Tabela 2. Rendimento em óleo de diversas oleaginosas	16
Tabela 3. Resultado da análise física do solo do experimento	19
Tabela 4. Resultado da análise química e fertilidade do solo do experimento	19
Tabela 5. Composição físico química da água de abastecimento e residuária	24
Tabela 6. Resumo das análises de variâncias referente à área foliar das plantas aos 28 DAE, (AF28), 35 DAE (AF35), 42 DAE (AF42), 49 DAE (AF49), 56 DAE (AF56), 64 DAE (AF64), 72 DAE (AF72), 79 DAE (AF79), 92 DAE (AF92), 99 DAE (AF99) e 105 DAE (AF105) do gergelim BRS Seda em função de água residuária decantada e adubação com N, P e K	31
Tabela 7. Coeficientes de ajuste da equação $\hat{Y}_{Ti} = Exp(A + Bx + Cx^{0.5})$ referente à área foliar, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação	34
Tabela 8. Resumo das análises de variâncias referente à altura de plantas aos 28 DAE (AP28), 35 DAE (AP35), 42 DAE (AP42), 49 DAE (AP49), 56 DAE (AP56), 64 DAE (AP64), 72 DAE (AP72), 85 DAE (AP85), 92 DAE (AP92), 99DAE (AP99) e 105DAE (AP105) do gergelim BRS Seda em função de água residuária decantada e adubação com N, P e K	37
Tabela 9. Coeficientes de ajuste da equação $\hat{Y}_{Ti} = Exp(A + BX + CX^2)$ referente à altura da planta, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação	40
Tabela 10. Resumo das análises de variâncias referente a diâmetro do colo das plantas aos 28 DAE (DC28), 35 DAE (DC35), 42 DAE (DC42), 49 DAE (DC49) 56 DAE (DC56), 64 DAE (DC64), 72 DAE (DC72), 79 DAE (DC79), 85 DAE (DC85), 92 DAE (DC92), 99 DAE (DC99) e 105 DAE (DC105) do gergelim BRS Seda em função de água residuária decantada e adubação com N, P e K	42
Tabela 11. Coeficientes de ajuste da equação $\hat{Y}_{Ti} = Exp(A + Bx + Cx^{0.5})$ referente ao diâmetro do caule, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação	45
Tabela 12. Resumo das análises de variâncias referente ao peso das sementes (PS), peso da matéria seca (MS) e peso de 100 sementes (PCS) do gergelim BRS Seda	

em função de água residuária decantada e adubação com N, P e K	46
Tabela 13. Coeficientes de ajuste da equação $\hat{Y} = A + BX + CX^2 + DX^3$ referente ao peso das sementes, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação	48
Tabela 14. Coeficientes de ajuste da equação $\hat{Y} = A + BX + CX^2 + DX^3$ referente à matéria seca, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação	50
Tabela 15. Coeficientes de ajuste da equação $\hat{Y} = A + BX + CX^{1.5} + DX^{0.5}$ referente ao peso de 100 sementes, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação	53
Tabela 16. Tratamentos em que as variáveis analisadas apresentam maiores médias	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Os nutrientes minerais do solo	10
Figura 2. Órgãos e tecidos do gergelim ( <i>Sesamum indicum</i> L.)	14
Figura 3. Esquema representativo das parcelas onde foi conduzido o experimento	21
Figura 4. Águas utilizadas na irrigação	23
Figura 5. Diversos formatos e tamanhos de folhas do gergelim	29
Figura 6. Análise de regressão para a variável área foliar em função do DAE	33
Figura 7. Altura da planta gergelim BRS Seda	35
Figura 8. Análise de regressão para a variável altura de plantas em função de DAE	39
Figura 9. Análise de regressão para a variável diâmetro do caule em função do DAE	44
Figura 10. Os frutos e sementes do gergelim	47
Figura 11. Análise de regressão para a variável peso das sementes em função dos tratamentos	48
Figura 12. Processo de secagem em estufa da matéria aérea e raízes	49
Figura 13. Análise de regressão para a variável matéria seca em função dos tratamentos	50
Figura 14. Balança utilizada para executar as pesagens no experimento	51
Figura 15. Análise de regressão para a variável peso de 100 sementes em função dos tratamentos	52

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABIOVE	Associação Brasileira de Óleos Vegetais
B	Boro
Ca	Cálcio
K <sub>2</sub> O	Cloreto de potássio
Cl	Cloro
Cu	Cobre
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMEPA	Empresa Paraibana de Agropecuária
E	Enxofre
EXTRABES	Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos
EUA	Estados Unidos da América
Fe	Ferro
P	Fósforo
Mn	Manganês
Mg	Magnésio
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
NP	Nutrientes primários
NS	Nutrientes secundários
K	Potássio
PRE	Pré-emergência
NEB	Região nordeste do Brasil
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Super fosfato simples
UI	Unidade Internacional
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS		
LISTA DE FIGURAS		
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS		
RESUMO		
ABSTRATC		
1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DA LETERATURA	4
2.1	Caracterização da região semiárida do nordeste brasileiro	4
2.2	A produção de biomassa energética	5
2.3	Demanda hídrica	6
2.4	Irrigação com água residuária	8
2.5	Adubação com N, P e K (Nitrogênio, Fósforo e Potássio)	10
2.6	Origem, história e difusão da cultura do gergelim	13
2.7	Morfologia e Taxonomia	13
2.8	Importância econômica	15
2.9	Cultivares	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1	Localização do experimento	18
3.2	Caracterização do clima	18
3.3	Características do solo	19
3.4	Delineamento experimental	20
3.5	Instalação e condução do experimento	21
3.6	Águas utilizadas na irrigação	22
3.7	Material de solo utilizado para o preenchimento de vasos	25
3.8	Adubação	25
3.9	Análise dos dados coletados	26
3.9.1	Área foliar	26
3.9.2	Altura da planta	27
3.9.3	Diâmetro do caule	27
3.9.4	Peso das sementes	27
3.9.5	Matéria seca	28

---

3.9.6	Peso de 100 sementes	28
284	RESULTADO E DISCUSSÃO	29
4.1	Variáveis analisadas	29
4.1.1	Área foliar	29
4.1.2	Altura da planta	35
4.1.3	Diâmetro do caule	40
4.1.4	Variáveis de produção	45
4.1.5	Peso das sementes (PS)	46
4.1.6	Massa seca (MS)	49
4.1.7	Peso de 100 sementes (PCS)	51
4.2	Tratamentos com melhores médias das variáveis analisadas	53
5	CONCLUSÃO	55
6	REFERÊNCIAS	56

## 1 – INTRODUÇÃO

As investigações agrofísicas são dirigidas para aumentar a eficiência da produção agrícola, reduzir a degradação dos solos, melhorar a qualidade da água e diminuir a perda de qualidade e quantidade de insumos agrícolas. A agricultura irrigada com o uso de esgotos domésticos tratados aplicados ao gergelim (*Sesamum indicum* L.), aliado ao contexto fisicoclimático do semiárido nordestino contribui para fixar o agricultor familiar no meio rural, servindo de fator de agregação de rendas pela minimização dos custos de produção e ao aumento da produtividade agrícola.

Reutilizar água é uma forma de controle da poluição hídrica e tem um efeito fertilizante em diversas culturas. De uma maneira geral, a aplicação de água residuária no solo promove sua valorização, em função das transformações, quase sempre positivas, de suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

Bezerra (2008) defende que a introdução do gergelim no semiárido paraibano oferece uma cultura de alto valor comercial, fonte de óleo comestível e derivados, podendo ser utilizado como biodiesel e os restos culturais são ricos para alimentação humana e aves, levando à melhoria das condições socioeconômicas dos produtores e do seu meio. Essa biomassa é uma forma indireta de aproveitamento da energia solar absorvida pela planta, resultado da conversão da luz do sol em energia, a mistura de ésteres de ácidos graxos oriundos dessa biomassa formam o biodiesel.

Segundo Beltrão e Vieira (2001) as plantas adaptadas às condições do semiárido é um componente importante no que se refere à estratégia de adaptação às mudanças climáticas, necessária a permanência do homem no campo. Aliada ao desenvolvimento de cultivares mais resistentes à seca, aos solos degradados, às altas temperaturas e com menor susceptibilidade a pragas e doenças é fundamental para a viabilidade e manutenção do plantio por agricultores familiares do semiárido.

O gergelim ou sésamo é uma planta anual herbácea, gamopétala, originária do Oriente, pertencente à família das pedaliáceas (*Sesamum indicum* L.), com propriedades medicinais, de flores alvas, róseas ou vermelhas, hermafroditas, dispostas nas axilas das folhas, e cujo fruto é

cápsula oblonga, pubescente, com sementes oleaginosas, pequenas, amarelas, brancas ou pretas, arredondadas e levemente comprimidas. Apresenta altura variável, de 0,5 a 3 m, caule ereto, com ou sem ramificações, com ou sem pelo, com nível razoável de heterofilia, folhas pecioladas e ciclo reprodutivo variando de 90 a 140 dias e que apresenta desenvolvimento radicular profundo e vigoroso que ajuda no seu desenvolvimento sob baixa disponibilidade hídrica aumentando sua resistência à seca (BELTRÃO et al., 1994).

Essa oleaginosa é cultivada em 65 países, especialmente na Ásia e na África. O Japão usa a semente de gergelim como alimento medicinal, constituindo-se em um dos principais países importadores, seguido da China (ARRIEL et al., 2009).

A produção mundial de sementes dessa cultura é de 2,4 milhões de toneladas anuais, obtidas em uma área aproximada de 6,0 milhões de hectares, com produtividade de 390 kg ha<sup>-1</sup>. O Brasil participa com 13 mil toneladas, obtidas em uma área de 20 mil hectares, com rendimento médio de 650 kg ha<sup>-1</sup> (ARRIEL et al., 1998).

Por ser uma alternativa de renda e fonte de proteína para consumo e enriquecimento de outros produtos, aliado aos segmentos fitoterápicos e fitocosméticos; seu cultivo apresenta grande potencial econômico, em virtude da diversificada forma de exploração, seja no mercado interno quanto no externo.

Para o crescimento e desenvolvimento do gergelim, o ideal é que a precipitação seja bem distribuída durante todo o ciclo da cultura, com insolação em torno de 2.700 horas (brilho solar por ano), porém em locais com precipitação inferior a 300 mm (BELTRÃO et al., 1994). Esta oleaginosa tem boa resistência à seca, ao frio e ao calor, apresenta ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas e seu rendimento é pouco influenciado pela latitude, pela altitude e pelo fotoperíodo (GODOY et al., 1985). A grande maioria das cultivares produz bem até altitude de 1.250 m, além desta, as plantas tornam-se pequenas, pouco ramificadas e com baixa produção (SEVERINO et al., 2004).

Neste trabalho tem-se como objetivo verificar o crescimento e desenvolvimento do gergelim irrigado com níveis de água residuária e de abastecimento e com a adubação mineral via N, P e K (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), analisar os efeitos dos tratamentos e avaliar as

variáveis de crescimento e produção, em uma classe de solo da região semiárida paraibana. Para atingir tal objetivo este trabalho encontra-se organizado em mais quatro capítulos, no Capítulo 2 apresenta revisão bibliográfica com os principais estudos desenvolvidos na área, no Capítulo 3 trata da organização metodológica, no Capítulo 4 têm-se os resultados alcançados e respectivas discussões, e no Capítulo 5 as conclusões obtidas.

## 2 – REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Caracterização da região semiárida do nordeste brasileiro

A Região Nordeste do Brasil (NEB) é composta por nove Estados: Alagoas - AL, Bahia - BA, Ceará - CE, Maranhão - MA, Paraíba - PB, Piauí - PI, Pernambuco - PE, Rio Grande do Norte - RN, Sergipe - SE. Essa região pode ser dividida em quatro subregiões, diferenciadas entre si pelas suas características edafoclimáticas, a saber: Zona da Mata, Agreste, Sertão e Meio-Norte. Mais de 50% da área da NEB tem clima semiárido (Bsh na classificação de Köppen<sup>1</sup>).

O clima semiárido é caracterizado por alta temperatura média anual, variando de 23 a 27°C, precipitações médias anuais iguais ou inferiores a 800 mm/ano, alta insolação média anual (2.800h/ano), evaporação maior que 2.000 mm/ano e umidade relativa do ar média em torno de 50%. O balanço chuva versus evaporação é desfavorável devido o volume de água evaporada ser cerca de três vezes o volume de água precipitada. Somente nos meses nos quais se concentram as chuvas é que esse balanço é positivo e propicia condições para a prática da agricultura. O regime de chuvas irregular e escasso é marcado pela concentração das precipitações em uma única estação, de apenas três meses ao ano, em anos de precipitação normal. O principal período da chuva da porção setentrional da região semiárida estende-se de fevereiro a maio (MONTEIRO, 2007).

No Brasil, o Nordeste, particularmente o semiárido, é uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas. Esta região representa 18,2% do território nacional (cerca de 1,56 milhão de km<sup>2</sup>). O Nordeste abriga um terço da população brasileira, cerca de 48 milhões de habitantes,

---

<sup>1</sup> Trata-se de um sistema de classificação global dos tipos climáticos, onde são considerados a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação. Cada grande tipo climático é denotado por um código, constituído por letras maiúsculas e minúsculas, cuja combinação denota os tipos e subtipos considerados. A primeira letra, maiúscula, denota a característica geral do clima de uma região, constituindo o indicador do grupo climático; a segunda letra, minúscula, estabelece o tipo de clima dentro do grupo, e denota as particularidades do regime pluviométrico; a terceira letra, minúscula, indica a temperatura média mensal do ar dos meses mais quentes ou a temperatura média anual do ar. No nosso caso Bsh: B - clima árido ou semiárido, s - chuvas de inverno e h – seco e quente.

sendo que 20 milhões vivem no semiárido (TUCCI et al., 2001). O semiárido nordestino estende-se por uma área estimada em 748.600 km<sup>2</sup>, perfazendo 8,8% do território brasileiro. Apresenta predominância de vegetação de Savana-estépica, caracterizada por formações xerófilas, lenhosas, decíduas, e em geral espinhosa, com presença de plantas suculentas e afilas (ALCOFORA FILHO et al., 2003; JACOMINE, 1996).

É necessário ressaltar que no semiárido, onde é majoritária a quantidade de solos degradados pelas formas anteriores de produção e pela erosão causada pela falta de cuidados, a adoção de técnicas de práticas conservacionista, faz-se fundamental para a sustentabilidade da agricultura nesta região frente às alterações climáticas. As práticas conservacionistas são procedimentos ou trabalhos realizados com o objetivo de manter o solo produtivo, ou de fornecer condições para que os solos se tornem produtivos, tais como a abolição das queimadas, plantação em curvas de nível, preservação da umidade do solo junto à planta, rotação de culturas, utilização de culturas que fornecem e fixam nitrogênio no solo (leguminosas), controle integrado de pragas, controle biológico de pragas, também são práticas que aumentam a conservação do solo e da água e que melhoram a convivência com o semiárido (MONTEIRO, 2007).

## **2.2 – A produção de biomassa energética**

A biomassa é uma forma indireta de aproveitamento da energia solar absorvida pelas plantas, resultado da conversão da luz do sol em energia, essa mistura de ésteres de ácidos graxos oriundos da biomassa formam o biodiesel (NAVARRO et al., 2005).

A matriz energética do biodiesel tende a reduzir as emissões de poluentes oriundos de combustíveis fósseis na atmosfera, gerando diversas pesquisas com plantas que tenham potencial acumulação de óleo. A produção de biomassa energética pode entrelaçar as comunidades agrícolas, especialmente as mais enfraquecidas pelos processos de desenvolvimento vigente e, ao mesmo tempo, permitir a redução da vulnerabilidade aos impactos das mudanças climáticas sobre as populações rurais, pelo fortalecimento desta. Especificamente em relação ao semiárido gera-se

---

uma oportunidade de inserção dos agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel através do plantio diversificado de oleaginosas (MONTEIRO, 2007).

Na atualidade, a demanda energética mundial precisa ser atendida, mas as fontes convencionais estão em vias de esgotamento, além de provocarem impactos ambientais negativos. Ante esses aspectos, tem-se pesquisado fontes energéticas renováveis destacando-se as leguminosas. No NEB o cultivo de oleaginosas é praticado, sobretudo, em cultivo extensivo em regime de sequeiro. Tendo em vista a produção de biodiesel, a ampliação do mercado traz novas e favoráveis perspectivas em relação a essas culturas na região (BEZERRA, 2008).

Nos próximos 30 anos a biomassa e seus derivados, em especial o biodiesel e o álcool, deverão ser considerados importantes fontes de energia de transição do petróleo para outras fontes, tais como o hidrogênio, a fusão nuclear e a anti-matéria, que poderão ser a realidade em cenários daqui a, respectivamente, 25, 50 e pelo menos 100 anos (BELTRÃO, 2005).

A época de plantio das oleaginosas varia de município para município, em função do máximo aproveitamento do período chuvoso no início do ciclo da cultura (plantio no início das chuvas) e também da possibilidade da colheita no período seco. Devido à grande variabilidade espacial e temporal da estação chuvosa do semiárido nordestino, as épocas de plantio variam desde setembro até abril, sendo que nas regiões em que o período chuvoso dura até 4 meses, a preferência de plantio recai sob os 2 meses iniciais (BELTRÃO et al., 2006).

O custo final de produção para a maioria dessas oleaginosas ainda engloba um alto custo de aprendizagem e suas produtividades refletem o baixo nível tecnológico praticado pelos agricultores familiares do semiárido (MONTEIRO, 2007).

### **2.3 – Demanda hídrica**

A urbanização, expansão agrícola, industrialização e degradação do meio ambiente, estão contribuindo para a redução da disponibilidade hídrica existente na natureza, tanto em quantidade como em qualidade. A água é essencial para a vida das plantas, tanto no sentido bioquímico

como biofísico e suas influências são internas e ambientais (BENINCASA, 1988). Uma das alternativas para amenizar tais problemas tem sido o uso de águas de qualidade inferior para os mais variados setores da sociedade como, por exemplo, a utilização de água residuária na agricultura.

A água além de ser o componente majoritário da célula vegetal, é essencial ao crescimento e manutenção da turgescência. As plantas cultivadas estão constantemente expostas a estresses abióticos ou bióticos, e às interações, que causam modificações no crescimento, metabolismo e rendimento agrícola (PINTO, 2006).

A importância prática de se entender o comportamento físico do solo está associada ao seu uso e manejo apropriado, ou seja, orientar irrigação, drenagem, preparo e conservação de solo e água. Um solo é considerado fisicamente ideal para o crescimento de plantas quando apresenta boa retenção de água, bom arejamento, bom suprimento de calor e pouca resistência ao crescimento radicular (REINERT e REICHERT, 2006).

A prática da irrigação, em muitas situações, é a única maneira de garantir a produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o caso do semiárido brasileiro, onde ocorre déficit hídrico para as plantas devido à alta taxa de evapotranspiração, que excede a taxa de precipitação durante a maior parte do ano (CHEYI et al., 1997).

Bernstein (1974) verificou que a água usada na irrigação, em geral contém sais solúveis em níveis variados e, quando esta é aplicada ao solo na ausência de lixiviação ou com drenagem restrita e na presença de evapotranspiração excessiva, produz acúmulo dos sais na zona radicular em concentrações prejudiciais às plantas.

A cultura do gergelim é tolerante ao estresse hídrico uma vez que nos diferentes níveis de estresse hídrico até supressão de 60% da água não houve diminuição no desenvolvimento da altura das plantas, na comparação com o tratamento sem estresse hídrico, devido, provavelmente, ao fato da planta de gergelim possuir resistência estomática bastante elevada fazendo com que a transpiração seja reduzida nos períodos de deficiência hídrica no solo, mantendo assim, o teor de água, capacitando-a a tolerar mais a seca (BEZERRA, 2008). Outro mecanismo de adaptação à

seca é o enrolamento foliar que pode ser uma estratégia para reduzir a área de transpiração, mantendo os estômatos num microclima com umidade elevada (TURNER, 1986).

Tabela 1: Classe de aptidão para cultura do gergelim.

Classes de aptidão	Precipitação <sup>1</sup> (mm)	Temperatura média (°C)	Precipitação <sup>2</sup> (mm)	Altitude (m)
Plena	350 - 600	25 - 30	> 500	250 – 1200
Restritiva	300 – 350 e > 600	25 – 30	>400	100 – 250
Inapta	< 300	< 25	< 400	< 100 ou > 1200

Fonte: Documento 126, Zoneamento Agrícola - Beltrão, (2004). <sup>1</sup>Precipitação média no período chuvoso - <sup>2</sup>Precipitação média anual.

#### 2.4 – Irrigação com água residuária

Diariamente grandes volumes de esgotos domésticos urbanos sem nenhum tratamento ou controle são lançados no meio ambiente, especialmente em países subdesenvolvidos. Esta prática é imensamente agressiva, causando incontáveis impactos negativos, sobretudo ambientais e de saúde pública. A busca por alternativas racionais que viabilizem o reuso de águas residuárias se faz a cada dia mais necessária, tanto do ponto de vista ambiental como do ponto de vista econômico, sobretudo em regiões áridas e semiáridas onde os recursos hídricos são bastante escassos, a exemplo do Nordeste brasileiro, comumente assolado por longos períodos de estiagens e secas quase periódicas (BEZERRA e FIDELES FILHO, 2009).

Segundo Hespanhol (2002) o reuso da água para fins agrícolas, de maneira controlada e planejada, traz benefícios ambientais e sociais com a redução da descarga dos esgotos em corpos d'água, conservação dos solos, devido à diminuição da erosão e acumulação de húmus, maior retenção de água no solo com o aumento da concentração da matéria orgânica, o aumento da produtividade devido à presença de matéria orgânica nos esgotos e benefícios econômicos com a redução do uso de fertilizantes comerciais.

No Curso sobre Tratamento de Esgoto, ministrado por Fonseca (2005), sobre a reutilização de água de forma direta e indireta, decorrentes de ações planejadas ou não, assinala que o reuso indireto não planejado da água ocorre quando essa é utilizada em alguma atividade humana, sendo descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada, já o reuso indireto planejado da água ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para ser utilizada a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. No reuso indireto planejado da água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam ao requisito de qualidade do reuso objetivado. E o reuso direto planejado das águas: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente.

No Brasil, a prática de reuso de esgotos tratados para irrigação constitui-se em um procedimento não institucionalizado e tem se desenvolvido sem planejamento ou controle. Na maioria das vezes é inconsciente por parte do usuário, que utiliza águas poluídas de córregos e rios adjacentes para irrigação de hortaliças e outros vegetais, ignorando que esteja exercendo uma prática danosa à saúde pública dos consumidores e provocando impactos ambientais negativos (BERNARDI, 2003).

Apesar de não ser considerado na política brasileira, o uso de água residuária (esgoto) na irrigação de culturas agrícolas é uma atividade milenar e atualmente difundida nos cinco continentes (LEITE et al., 2003). Contra isto, entretanto, pesam os aspectos sanitários dessas águas (SOUZA e LEITE, 2003), existindo diretrizes, a fim de evitar riscos à saúde pública, sugeridas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), para culturas ingeridas cruas um padrão de qualidade bacteriológico.

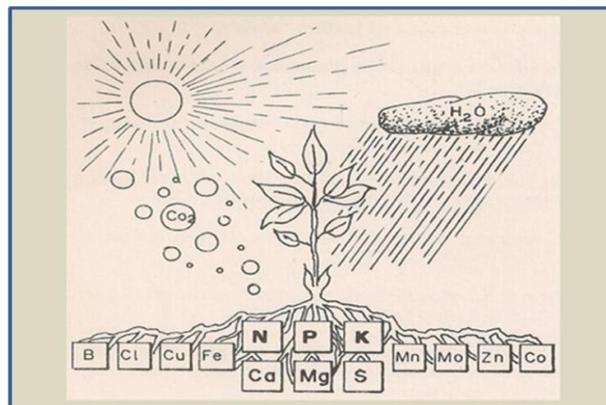
A aplicação do esgoto doméstico sobre a superfície do solo como processo de tratamento possibilita a remoção dos poluentes por meio de mecanismos físicos (sedimentação, filtração, radiação, volatilização e desidratação), químicos (oxidação e reações químicas, precipitação, adsorção e troca iônica) e biológicos (absorção, biodegradação e predação). Além do efeito depurador do esgoto, esta prática proporciona o suprimento de água para as culturas e a adição de

matéria orgânica no solo, que proporciona melhoria de suas condições físicas aumenta a atividade biológica (FONSECA, 2005).

Segundo Sousa et al. (2006) os organismos patogênicos presentes nos esgotos não penetram no tecido vegetal, a não ser que a planta esteja danificada, mas alguns patógenos podem ser encontrados na superfície das plantas fertirrigadas com esgotos tratados. De modo geral, sua sobrevivência depende de fatores como incidência de luz solar, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, textura do solo e o método de aplicação do esgoto no solo.

## 2.5 – Adubação com N, P e K (Nitrogênio, Fósforo e Potássio)

No estudo realizado por Laperuta Neto (2006), observa-se que os nutrientes minerais são fornecidos pelo solo e estão divididos em três grupos (Figura 1), os nutrientes primários (NP) – Nitrogênio (N), Fósforo (P) e o Potássio (K); nutrientes secundários (NS) – Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e o Enxofre (E) e, por fim, os micronutrientes – Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo) e o Zinco (Zn). Os NP geralmente tornam-se deficientes no solo antes dos demais, porque as plantas os usam em quantidades relativamente grandes. Os NS e os micronutrientes são geralmente menos deficientes e usados em quantidades menores.



**Figura 1. Os nutrientes minerais do solo.**

**Fonte: Laperuta Neto (2006).**

A aplicação de adubos em solos, além do efeito direto no suprimento de nutrientes para as plantas, contribui para a permeabilidade e infiltração da água, favorece a microbiota natural do solo, melhora as condições físicas do solo e contribui para baixar os teores de alumínio trocável (COSTA, 1983).

Os nutrientes minerais têm funções específicas e essenciais no metabolismo das plantas para garantir adequada produtividade, o manejo da adubação deve visar à manutenção de teores médios a elevados de fósforo e potássio no solo. Como o nitrogênio é extraído pela cultura em grandes quantidades e não apresenta efeito residual direto no solo, já que sua dinâmica no mesmo é complexa, a produtividade esperada é um componente importante para a definição de suas doses (CANTARELLA, 2003).

O nitrogênio influencia tanto a taxa de expansão quanto a divisão celular determinando, desta forma, o tamanho final das folhas, o que faz com que o nitrogênio seja um dos fatores determinantes da taxa de acúmulo de biomassa. Um acréscimo no suprimento de nitrogênio estimula o crescimento, atrasa a senescência e muda a morfologia das plantas e, além disso, o aumento nos níveis de adubação nitrogenada causa um acréscimo significativo no conteúdo de clorofila das folhas (FERNÁNDEZ et al., 1994). E é o elemento que mais causa problemas acentuados de deficiência nutricional, razão pela qual na agricultura comercial moderna, em virtude dos fertilizantes nitrogenados e da matéria orgânica apresentarem custo relativamente baixo, grandes quantidades desses insumos são adicionadas ao solo constituindo-se fonte potencial de poluição ambiental (BEZERRA, 2008).

O fósforo (P) age na respiração, produção e processos de transformação de energia pela planta, melhorando o florescimento, frutificação, e contribuindo para o desenvolvimento radicular (RAIJ, 1991). Sob condições de excesso de umidade, o uso de P, serão maiores ou menores do que sob condições adequadas de umidade (DUTRA et al., 1995).

Segundo, Singh et al., (1960), em experimentos com aplicação de N, P e K o rendimento de óleo por acre<sup>2</sup>, do gergelim, aumentou significativamente pela aplicação de nitrogênio, na razão de 25 lb<sup>3</sup>. A aplicação de P e K não surgiu efeito na produção. Aplicação de N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (super fosfato simples) aumentou o número de cápsulas por planta e o número de sementes por

---

<sup>2</sup> 1 acre equivale a 2,47 ha.

<sup>3</sup> 25 lb equivale a 11,34 kg.

cápsula. Também foi verificado que o nitrogênio tendeu a diminuir o percentual de óleo na semente.

Em pesquisa realizada por dois anos em solo Bruno Não-Cálcico, pobre em nitrogênio e fósforo, em sequeiro no Município de Patos - PB, com as cultivares IAC Ouro (não ramificada e precoce) e Seridó (tardia e ramificada), apresentou aumento significativo na produtividade do gergelim, altura da primeira cápsula e número de frutos por planta, com a adubação de nitrogênio e fósforo (BELTRÃO et al., 1989).

A adubação do gergelim é um dos assuntos mais discutidos e controversos da cultura desta pedaliácea, pois há resultados positivos para determinados locais e cultivares, e negativos em outras situações, mostrando a complexidade do meio e a grande dificuldade de se entender as relações solo, planta e atmosfera (BELTRÃO e VIEIRA, 2001). Conforme os mesmos autores, em solos pobres, mormente em matéria orgânica, caso não haja aplicação de fertilizantes, orgânicos ou químicos, as plantas de gergelim apresentam sintomas de deficiências complexas, envolvendo interação de vários nutrientes, como nitrogênio e enxofre.

O gergelim extrai do solo, em termos relativos, quantidades elevadas de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), que variam conforme a produção, o estado nutricional, a variedade utilizada e a parte da planta colhida. Em geral, a planta precisa de 50 - 14 - 60 kg ha<sup>-1</sup> de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O para produzir 1.000 kg de sementes (QUEIROGA et al., 2008). O excesso de umidade no solo pode aumentar o suprimento de nutrientes que dependem da difusão, como o P e o K, para a superfície das raízes (BARBER, 1984). As doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e de K<sub>2</sub>O devem ser calculadas levando em consideração a reação desses produtos no solo.

A adubação com biossólido apresentou efeito equivalente à adubação com uréia, em relação ao crescimento e à produção da cultura do gergelim (BEZERRA et al., 2008).

## 2.6 – Origem, história e difusão da cultura do gergelim

É uma das espécies vegetais mais antigas cultivadas pelo homem. O local de sua origem é incerto podendo situar-se entre Ásia e a África. Os principais centros de origem e difusão são a Etiópia (centro básico) e Ásia (Afeganistão, Índia, Irã e China). Chegou ao Brasil (Nordeste) trazido pelos portugueses no século XVI, sendo plantada, tradicionalmente, como "cultura de fundo de quintal" ou em pequenas áreas - de separação de glebas - chamadas de terreiros. O produto obtido - grãos - era consumido, em nível de fazendas, e havia raros excedentes para comercialização (EPISTEIN, 2000).

Ainda de acordo com Epistein (2000), a produção do gergelim no Brasil, em 1995, era 13 mil toneladas em 20 mil hectares plantados, com rendimento em torno de 650 kg de grãos/hectare, em cultivos comerciais encontrados no estado de SP. A partir de 1986 o gergelim passou a ser cultivado comercialmente no Nordeste e inicialmente plantou-se 1.000 hectares que evoluíram para 7.000 hectares em 1988. A falta de financiamento para a cultura e a ausência de estrutura de comercialização fez a lavoura retornar aos fundos dos quintais. Com a ociosidade da indústria de óleo nordestina, a resistência da planta à seca e a facilidade do seu cultivo aliados à possibilidade de exportação, o óleo aparece como alternativa para melhorar a renda de pequenos produtores e eleva a possibilidade de difusão do cultivo dessa oleaginosa.

## 2.7 – Morfologia e Taxonomia

O gergelim (*Sesamum indicum* L.), segundo Guerra (1974), é uma oleaginosa que apresenta a seguinte classificação botânica: ramo: fanerógamo, subramo: angiospemas; classe: dicotiledônios; ordem: tubiflorales, família: pedaliáceas; gênero: *Sesamum* e espécie *Sesamum indicum* L (Figura 2).



**Figura 2. Órgãos e tecidos do gergelim (*Sesamum indicum* L.).  
Fonte: Rural Bioenergia.**

As cultivares (variedades) podem ser diferenciadas por vários atributos da planta como altura, ciclo, coloração - do caule, das folhas e das sementes, tipo de ramificação e resistência às pragas. As sementes de gergelim são pequenas, achatadas, coloração variando do branco ao preto e os teores médios dos componentes encontrados em 100 g de grão são: 5,4% de água, 563 kcal - calorias, 18,6g de proteínas, 49,1% de óleo, 21,6% de carboidratos totais, 6,3% de fibras totais, 5,3% de cinzas, 1.160 mg de cálcio, 616 mg de fósforo, 10,5 mg de ferro, 60 mg de sódio, 725 mg de potássio, 99µg de vitamina A (30 UI – Unidade Internacional), 0,98 mg tiamina, 0,23 mg de riboflavina, 5,4 mg niacina e 1.000 sementes pesam, em média, 2,59 gramas (EPPSTEIN, 2000).

Um dos fatores que restringem uma maior produtividade na cultura é a perda de sementes durante o processo de colheita, manual ou mecânica. Esta perda ocorre porque o período de frutificação do gergelim se prolonga por várias semanas; quando os frutos da base estão maduros, eles começam a abrir. Porém, na parte apical dos ramos principais ou secundários encontram-se frutos na fase inicial de desenvolvimento e, como a abertura dos frutos se processa em ritmo acelerado, qualquer atraso no corte pode representar sensíveis perdas de sementes (ARRIEL et al., 1998).

A cultivar lançada pela Embrapa a BRS Seda é tolerante às principais doenças da cultura, porte médio a alto, hábito de crescimento ramificado, ciclo precoce de menos de noventa dias, apresenta sementes de coloração branca e teor de óleo entre 50-53% do peso de suas sementes. A

BRS Seda apresentou uma produção de 2.300,00 kg de grãos por hectare, em regime irrigado (EMBRAPA, 2007).

## 2.8 – Importância econômica

O gergelim é uma cultura de grande valor econômico, pelas inúmeras utilidades que sua semente oferece, tanto na parte comestível como, na produção de óleo; entretanto, o cultivo se restringe a pequenas lavouras, com pouco interesse comercial e baixo nível tecnológico (BELTRÃO et al., 1994). No NEB, a exploração permanece em níveis de subsistência, com poucos excedentes comercializáveis, apesar da boa adaptabilidade da cultura (ANDRADE, 2009).

A principal demanda de gergelim provém da indústria alimentícia, sendo que 70% da produção de grãos, na maioria dos países importadores, são utilizadas para a elaboração de óleo e farinha. Dependendo da variedade, a semente integral do gergelim (*Sesamum indicum*, L), pode conter 54,08% de óleo e 21,83% de proteína, além de ser considerada rica em aminoácidos sulfurados, característica rara entre as proteínas de origem vegetal (QUEIROGA e SILVA, 2008). O uso de suas sementes tem crescido em torno de 15 % ao ano graças ao aumento da quantidade de produtos industrializáveis para o consumo. A maior parte das sementes produzidas no mundo é processada para obtenção de óleo e produtos alimentícios (ARRIEL et al., 2009).

Na culinária caseira usa-se a semente como tempero e para o preparo de biscoitos, pães, doces, alimentação animal e outros. Na indústria química, o óleo pode ser usado na fabricação de margarinas, cosméticos, perfumes, remédios, lubrificantes, sabão, tintas e inseticidas (BELTRÃO et al., 1994).

O óleo de gergelim pode ser encontrado em feiras públicas, mercados, supermercados e em lojas de produtos para dietas naturalistas e especiais, desde o interior à capital do estado da Paraíba, sendo o óleo rico em vitamina E, outras substâncias nobres e coadjuvantes na manutenção ou na recuperação da saúde (BELTRÃO e VIEIRA, 2001). Segundo Queiroga e

Silva (2008) esse óleo tem elevada estabilidade oxidativa quando comparado com a maioria dos óleos vegetais em razão da sua composição de ácidos graxos e pela presença dos antioxidantes naturais, sesamolina, sesamina, sesamol e gama tocoferol.

Firmino et al. (2010) desenvolveram experimento no sertão piauiense utilizando o gergelim BRS Seda, verificaram que este possui teores nutricionais e de óleo acima dos de outras variedades, como descrito na Tabela 2, o teor de óleo encontrado nas análises demonstra a aptidão desta oleaginosa para obtenção de óleo de excelente qualidade para uso alimentar, cosmético, químico, farmacêutico como também para uso em biocombustíveis, já que se pode obter grandes quantidades deste óleo nos grãos por hectare plantado.

Tabela 2: Rendimento em óleo de diversas oleaginosas.

Oleaginosas	Rendimento em óleo (%)
Algodão	30 a 40
Amendoim	40 a 50
Arroz	15 a 23
Babaçu	58 a 67
Coco	50 a 65
Colza	39 a 45
Gergelim	48 a 55
Girassol	45 a 55
Linhaça	35 a 45
Mamona	45 a 55
Milho (germe)	30 a 36
Palma (dendê)	35 a 45
Palmiste	55 a 65
Soja	18 a 21

Fonte: Abiove – Assoc. Bras. de Óleos Vegetais.

A torta de gergelim tem alto teor de proteína (39,8%), baixo teor de fibras (4,7%); obtida por prensagem (método Expeller) dos grãos a torta ainda possui 8,2% de umidade, 12,8% de óleo, 22,8% de carboidratos e 11,8% de cinzas (EPSTEIN, 2000).

## 2.9 – Cultivares

O gergelim apresenta grande adaptação às condições edafoclimáticas da região Nordeste. Possui 16 gêneros e 60 espécies, mencionando-se 49 espécies do gênero *Sesamum*, podendo suas cultivares serem diferenciadas por vários atributos, como altura, ciclo, coloração do caule, das folhas e das sementes, tipo de ramificação e resistência a pragas e doenças (SOARES, 2010).

Segundo Queiroga e Silva (2008), as variedades de gergelim normalmente se dividem em três tipos: deiscentes, indeiscentes e semi-deiscentes. Observa: a) Variedades deiscentes: a maioria das variedades deste tipo, que se cultivam nos Estados Unidos (USA), tem sido produzida a partir da variedade Kansas 10 ou K-10, não ramificada; b) Variedades indeiscentes: as variedades indeiscentes têm sido desenvolvidas para colheita mecânica; c) Variedades semi-deiscentes: nas cultivares de gergelim semi-descentes não é recomendado o uso de dessecante para acelerar a colheita. A indeiscência ou a semi-indeiscência são os caracteres que oferecem as melhores possibilidades para resolverem-se problemas de perdas de sementes e adaptação da cultura à colheita mecanizada.

A maioria das cultivares deiscentes de gergelim lançadas pela EMBRAPA Algodão foi direcionada para o Nordeste - microrregiões Sertão e Seridó, com exceção da cultivar BRS Seda, que é indicada também para as regiões Centro Oeste (Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso) e Sudeste (São Paulo) (EMBRAPA, 2007). Desde o descobrimento do primeiro mutante indeiscente, os melhoristas têm dado ênfase ao desenvolvimento de cultivares que se adaptem à colheita mecânica. A obtenção de novas cultivares que retenham as sementes depois da maturação poderia ser alcançada através do manejo dos seguintes caracteres: indeiscência dos frutos e sementes fortemente aderidas à placenta ou cápsulas papiráceas (ARRIEL et al., 2001).

### **3 – MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 – Localização do experimento**

O experimento foi realizado no período entre 12 dezembro de 2009 a 01 abril de 2010, conduzido sob condições de campo, na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos - EXTRABES, bairro do Tambor, no município de Campina Grande, estado da Paraíba. Tendo as seguintes coordenadas geográficas do local 07°15'18'' de latitude sul e 35°52'28'' de longitude oeste, a 550m acima do nível do mar, localizado na Microrregião do Agreste Central do Planalto da Borborema.

#### **3.2 – Caracterização do clima**

O clima da região onde se realizou o experimento, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo “CSa”, semiúmido, que representa clima mesotérmico, subúmido, com verão quente e seco (4 a 5 meses) e chuvas de outono e inverno. O período chuvoso é de março a junho e o mais seco é de outubro a dezembro. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o município apresentou, no período do experimento, uma precipitação total de 107,0 mm; temperatura máxima 27,1°C e mínima 25,2°C, radiação de 19,8 MJm<sup>2</sup> e umidade relativa do ar de 83,2%.

### 3.3 – Características do solo

O solo utilizado foi coletado da camada superficial (0 - 20 cm) na Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba - EMEPA - PB, município de Lagoa Seca - PB (latitude: 07°09` Sul, longitude: 35°52` Oeste e altitude de 630 metros), seco ao ar, destorroado, homogeneizado, peneirado.

Sendo caracterizado quanto aos aspectos físicos e químicos em análises realizadas no Laboratório de Solos e Água - LASAG, da Universidade Federal de Campina Grande, para análise físico-química, resultando nos dados constantes nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Resultado da análise física do solo do experimento

	Condutividade Elétrica 1:5 dS.m <sup>-1</sup>	Granulometria g.kg <sup>-1</sup>			Classif. Textual USDA	C.C. %	P.M.P.	Densidade Glob partícula g.cm <sup>-3</sup>	
		AREIA	SILTE	ARGILA					
T1	0,14	840	80	80	Areia Franca	9,6	4,4	0,60	0,50
T2	0,36	840	80	80	Areia Franca	15,0	6,5	0,60	0,50
T3	0,24	860	60	80	Areia Franca	10,2	4,6	0,60	0,50
T4	0,35	840	80	80	Areia Franca	11,7	5,3	0,60	0,50
T5	0,15	840	80	80	Areia Franca	9,7	4,4	0,60	0,60
T6	0,36	820	100	80	Areia Franca	9,8	4,5	0,60	0,55
T7	0,19	840	80	80	Areia Franca	12,9	5,9	0,55	0,55

Análise realizada do Laboratório de Solos e Água - LASAG da UFCG, Patos, 2010.

Tabela 4. Resultado da análise química e fertilidade do solo do experimento

	pH	M.O. gdm <sup>-3</sup>	P µgcm <sup>-3</sup>	Ca	Mg	K	Na	H <sup>+</sup> Al	T	V %	
	CaCl <sub>2</sub> 0,01M			-----cmol dm <sup>-3</sup> -----							
T1	5,9	12,7	4,5	2,0	1,0	0,11	0,70	2,4	6,2	61,3	
T2	5,7	12,7	13,3	2,1	0,7	0,19	1,41	2,4	6,8	64,7	
T3	6,1	10,5	14,4	2,0	0,8	0,10	1,04	1,1	5,0	78,2	
T4	6,0	12,7	10,4	2,2	0,8	0,14	1,20	2,0	6,3	68,4	
T5	5,7	11,2	41,1	2,1	0,7	0,17	0,70	2,2	5,9	62,5	
T6	6,2	9,8	31,6	2,2	0,8	0,17	1,17	1,6	5,9	73,1	
T7	6,1	12,0	26,0	2,0	0,8	0,12	0,77	2,1	5,8	63,7	

Análise realizada do Laboratório de Solos e Água - LASAG da UFCG, Patos, 2010.

### 3.4 – Delineamento experimental

O delineamento experimental foi de blocos inteiramente casualizado (DIC), Figura 3, com sete tratamentos e cinco repetições seguindo o arranjo fatorial  $2 \times 3 + 1$ , totalizando 35 unidades experimentais, representada por vasos de polietileno com capacidade de 30 litros e contendo 32 kg de solo seco ao ar. Em três tratamentos variou-se o teor de água residuária diluindo-a com água tratada utilizada no abastecimento urbano do município de Campina Grande - PB, que variou entre 100%, 70% e 50%. Em mais três tratamentos utilizou-se para irrigação a água tratada e variou-se o teor de N, P e K no solo, com 100% (15 kg ha<sup>-1</sup> de N, 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), 70% (10,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, 42 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 35 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e 50% (7,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 25 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), a Testemunha foi irrigada somente com água de abastecimento, sem adubação química. Os tratamentos são descritos:

- Tratamento 1 (T1) - Irrigação com 100% de água de abastecimento – Testemunha;
- Tratamento 2 (T2) - Irrigação com 100% de água residuária;
- Tratamento 3 (T3) - Irrigação com 70% de água residuária e 30% de água de abastecimento;
- Tratamento 4 (T4) - Irrigação com 50% de água residuária e 50% de água de abastecimento;
- Tratamento 5 (T5) - Irrigação com água de abastecimento e solo adubado a nível de 100% de N, P e K (15 kg ha<sup>-1</sup> de N, 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O);
- Tratamento 6 (T6) - Irrigação com água de abastecimento e solo adubado a nível de 70% de N, P e K (10,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, 42 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 35 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O);
- Tratamento 7 (T7) - Irrigação com água de abastecimento e solo adubado a nível de 50% de N, P e K (7,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 25 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O).



BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4	BLOCO 5
①	⑦	②	③	④
②	⑥	③	⑤	⑦
③	⑤	④	⑦	①
④	④	①	⑥	③
⑤	③	⑤	④	⑥
⑥	②	⑦	①	②
⑦	①	⑥	②	⑤

**Figura 3.** Esquema representativo das parcelas onde foi conduzido o experimento (sem escala de proporcionalidade). **Legenda:** Tratamento 1 - ① Tratamento 2 - ② Tratamento 3- ③ Tratamento 4 - ④ Tratamento 5 - ⑤ Tratamento 6 - ⑥ Tratamento 7- ⑦

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente utilizando-se a análise de variância (ANOVA). Nas características em que foram encontradas significâncias, foram calculados os coeficientes de regressão. Sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software SISVAR, versão 5.1, Build 72 (FERREIRA, 2008).

### 3.5 – Instalação e condução do experimento

A cultura utilizada foi o gergelim BRS Seda, sendo semeadas em cada balde 6 sementes, com 1 cm de profundidade e durante o período compreendido entre a semeadura e a germinação manteve-se o solo umedecido, ocorrendo à germinação 4 dias após o plantio.

Conforme recomendação de Apstein (2000), após 15 dias da germinação procedeu-se ao desbaste ou raleamento, com solo úmido, deixando apenas uma planta por vaso.

Colocou-se 30 kg de solo franco arenoso (massame) em cada vaso e de acordo com a análise química do solo procedeu-se a adubação nos tratamentos T5, T6 e T7 com N, P e K a 100%, 70% e 50%, respectivamente.

A partir dos 28 dias após a emergência (DAE), a cada semana, foram medidas as seguintes características: o comprimento (C), a largura (L) das folhas e o número de folhas para determinar a área foliar. Nesta medição de área foliar foi considerada a nervura principal, sendo descartadas as folha que apresentavam um comprimento inferior a 3,0 cm. Utilizou-se a metodologia proposta por Silva et al. (2002), segundo a Equação, dada por:

$$AF = 0,7.L.C \text{ -----(1)}$$

Onde L é a largura da folha (cm), C o comprimento (cm) e 0,7 é o coeficiente de ajuste.

Foram realizadas capinas manuais em quatro momentos da cultura para facilitar a realização dos tratamentos e condução do experimento.

O diâmetro do colo do caule foi medido a 4 cm da superfície do material de solo, utilizando-se um paquímetro, nos mesmos períodos estabelecidos para mensuração da altura das plantas.

Durante o experimento avaliou-se as seguintes características, no estande inicial: contagem das plantas aos 28 dias após emergência, altura das plantas - medida a partir do nível do solo até a extremidade mais alta, sendo utilizada trena graduada; diâmetro do colo do caule a 4 cm do solo; número de flores e brotações por planta, medida da área de todas as folhas e no estande final: peso das sementes produzidas, peso de 100 sementes e coleta dos restos culturais que foram levadas para estufa com circulação forçada de ar, a 55 °C, até atingirem peso constante, encontrando assim o peso da matéria seca.

### **3.6 – Águas utilizadas na irrigação**

O experimento contou com duas fontes distintas de água, sendo, água de abastecimento potável do sistema de abastecimento público de Campina Grande - PB e água residuária decantada proveniente da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES) - Figura 4. As suas características físico-químicas constam na Tabela 5,

publicadas por Santos (2009). A água de abastecimento foi armazenada, para o experimento, em caixa d'água de 1.000 litros para evaporação do cloro.



**Figura 4. Águas utilizadas na irrigação. A - água residuária decantada proveniente da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES) e B - água de abastecimento potável do sistema de abastecimento público de Campina Grande – PB.**

As águas de irrigação foram aplicadas manualmente, com volume controlado a partir da utilização de um Becker de 1.000 ml. Inicialmente as plantas foram irrigadas diariamente e depois dos 15 dias após emergência (DAE) o intervalo entre as irrigações se deu a cada três dias e se iniciou a irrigação com água residuária.

Tabela 5. Composição físico química da água de abastecimento e residuária.

Parâmetro	Unidade	Água de Abastecimento	Água Residuária
Condutividade elétrica	$\mu\Omega/\text{cm}$ a 25°C	572	1.205
Potencial Hidrogeniônico (pH)		7	7,4
Cloretos em $\text{Cl}^-$	$\text{mg.l}^{-1}$	142,0	248,5
Sulfatos em $\text{SO}_4^{=}$		Leves traços	Leves traços
Alcalinidade de Hidróxidos em $\text{CaCO}_3$		Ausência	Ausência
Alcalinidade de Carbonatos em $\text{CaCO}_3$	$\text{mg.l}^{-1}$	20,0	70,0
Alcalinidade de Bicarbonatos em $\text{CaCO}_3$	$\text{mg.l}^{-1}$	70,0	215,0
Cálcio em $\text{Ca}^{++}$	$\text{mg.l}^{-1}$	36,0	54,0
Magnésio em $\text{Mg}^{++}$	$\text{mg.l}^{-1}$	22,8	28,8
Sódio em $\text{Na}^+$	$\text{mg.l}^{-1}$	92,0	207,0
Potássio em $\text{K}^+$	$\text{mg.l}^{-1}$	7,02	31,2
Dureza Total em $\text{CaCO}_3$	$\text{mg.l}^{-1}$	185,0	255,0
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)		3	6
Classe		$\text{C}_2\text{S}_1$	$\text{C}_3\text{S}_2$

**Análises realizadas pelo Laboratório de Solo da Embrapa Algodão, Campina Grande, 2008.**

O cálculo da irrigação, baseado em Beltrão e Vieira (2001), foi realizado em função da demanda evapotranspirométrica, avaliada pela diferença dos volumes aplicado e drenado. O volume de irrigação a ser aplicado foi calculado com base no volume evapotranspirado, dividindo-se a diferença por 0,8, de maneira a restabelecer a umidade à capacidade de campo e de se obter uma fração de lixiviação de aproximadamente 20%. Os volumes de irrigação foram estimados a partir da Equação, dada por:

$$VI = \frac{(VA - VD)}{0,8} \text{-----(2)}$$

Onde 0,8 é coeficiente para restabelecer a umidade à capacidade de campo e se obter uma fração de lixiviação de aproximadamente 20% (1-0,20); VI é o volume de irrigação em ml; VA é o volume aplicado, em ml e VD é o volume drenado, em ml.

Ressalta-se que num experimento em vasos verificam-se algumas diferenças dos experimentos instalados no campo. O solo no vaso difere do solo em posição natural, este é normalmente preenchido com material peneirado, às vezes acrescido de um condicionador. A altura do vaso é inferior à de um perfil de solo normal e não existe no vaso seqüência de horizontes.

Outra diferença importante é que a condição de contorno do lado inferior de um vaso é diferente da observada e não há, no vaso, um potencial matricial do lado inferior, como é o caso de um solo na sua posição natural. Como vasos são normalmente preenchidos com material misturado e peneirado e a condição de contorno do lado inferior é sempre a mesma, a abertura para a atmosfera, a capacidade de vaso é mais facilmente padronizável (CASAROLI e LIER, 2008).

### **3.7 – Material de solo utilizado para o preenchimento de vasos**

O sistema de drenagem foi constituído de uma camada de brita zero de aproximadamente, 2 cm de espessura. Os recipientes foram preenchidos com um substrato composto de material de solo “franco arenoso”, e antecedendo o plantio, deixando o solo com umidade adequada para a germinação das sementes.

### **3.8 – Adubação**

Aplicou-se N, P e K no ato do plantio das sementes e os fertilizantes empregados foram a uréia (45% de N), o super-fosfato simples (18% de  $P_2O_5$ ) e o cloreto de potássio (60% de  $K_2O$ ). Foram distribuídos em vasos levemente incorporados, constituída de doses de N, P e K nas quantidades de  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  e  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , correspondendo às

dosagens para os vasos, medidas em balança de precisão, a nível de 100%, de 33,330g N ha<sup>-1</sup>, 285,700 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 83,330 g K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. E para os níveis de 70% e 50% de N, P e K.

### 3.9 – Análise dos dados coletados

Desenvolveu-se a análise dos dados em etapas, de tal forma a permitir a determinação progressiva das exposições efetivamente associadas aos tratamentos estudados. Tal processo envolveu, em seqüência, a análise descritiva dos tratamentos e a análise de regressão, de modo a avaliar as relações entre os tratamentos empregados. Realizou-se a correlação envolvendo todos os tratamentos e suas respectivas amostras, com os dados sendo apresentados em forma de tabela e gráficos, visando facilitar sua visualização ao longo da análise.

#### 3.9.1 – Área foliar

O ajuste dos pontos da área foliar (AF), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações exponenciais ajustadas para a AF, apresentando-se com a equação:

$$\hat{Y}_{Ti} = \text{Exp}(A + Bx + Cx^{0.5}) \text{-----} (3)$$

Em que  $\hat{Y}_{Ti}$  - se refere à área foliar; X - dias após a semeadura; A, B e C - são coeficientes de ajuste.

### 3.9.2 – Altura da planta

O ajuste dos pontos da altura da planta (AP), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações exponenciais ajustadas para a AP, apresentando-se com a equação:

$$\hat{Y}_{Ti} = \text{Exp}(A + BX + CX^2) \text{-----} (4)$$

Em que  $\hat{Y}_{Ti}$  - se refere à altura da planta; X - dias após a semeadura; A, B e C - são coeficientes de ajuste.

### 3.9.3 – Diâmetro do caule

O ajuste dos pontos do diâmetro do colo do caule (DC), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações exponenciais ajustadas para a DC, apresentando-se com a equação:

$$\hat{Y}_{Ti} = \text{Exp}(A + BX + CX^{0.5}) \text{-----} (5)$$

Em que  $\hat{Y}_{Ti}$  - se refere ao diâmetro do colo do caule; X - dias após a semeadura; A, B e C - são coeficientes de ajuste.

### 3.9.4 – Peso das sementes

O ajuste dos pontos do peso das sementes (PS), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações ajustadas para o PS, apresentando-se com a equação:

$$\hat{Y} = A + BX + CX^2 + DX^3 \text{-----} (6)$$

Em que  $\hat{Y}$  - se refere ao peso das sementes; X - Tratamento; A, B, C e D – são coeficientes de ajuste.

### 3.9.5 – Matéria seca

O ajuste dos pontos da matéria seca (MS), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações exponenciais, e essas equações ajustadas para o MS, apresentando-se com a equação:

$$\hat{Y} = A + BX + CX^2 + DX^3 \text{-----}(7)$$

Em que:  $\hat{Y}$  - se refere à matéria seca; X - Tratamento; A, B, C e D – são coeficientes de ajuste.

### 3.9.6 – Peso de 100 sementes

O ajuste dos pontos do peso de 100 sementes (PCS), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações ajustadas para o PP, apresentando-se com a equação:

$$\hat{Y} = A + BX + CX^{1,5} + DX^{0,5} \text{-----}(8)$$

Em que  $\hat{Y}$  - se refere ao peso de 100 sementes; X - Tratamento; A, B, C e D – são coeficientes de ajuste.

## 4 – RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 – Variáveis analisadas

#### 4.1.1 – Área foliar

Dos órgãos vegetativos da planta, a folha merece um destaque especial porque é nela que basicamente se realiza a fotossíntese (Figura 5), responsável pela formação de composto de carbono (FREIRE et al., 2004). A área foliar é um fator de crescimento da planta que traduz o tamanho do sistema de assimilação da radiação solar para realizar a fotossíntese.



**Figura 5. Diversos formatos e tamanhos de folhas do gergelim.**

A Tabela 6 contém o resumo das análises de variância referente à área foliar do gergelim em função de DAE, com tratamentos por água de abastecimento e reuso de água residuária de esgoto doméstico, adubação mineral (N, P e K) irrigada com água de abastecimento e uma Testemunha irrigada com água de abastecimento sem o uso de adubação mineral. A área foliar foi fortemente influenciada pelos tratamentos de irrigação com água residuária decantada, pois, existem nutrientes utilizados pela planta contidos na água residuária. Os tratamentos com adubação mineral (N, P e K) tiveram um efeito inferior aos tratamentos com água residuária, ficando sua área menor que a da Testemunha irrigada com água de abastecimento.

Os valores médios de área foliar total em cm<sup>2</sup> por planta, nos tratamentos, comparados através do teste de Tukey ao nível de 5%, mostrou que o Tratamento T3 foi 61,74% superior a Testemunha T1 em 60 DAE, ocorrendo uma diferença significativa, devido aos nutrientes contidos na água residuária proveniente de esgotos domésticos. Sendo, em média, os tratamentos T3 e T2, respectivamente, superiores 43,44% e 40,10% a Testemunha (T1).

Estudo sobre o desenvolvimento da alface, Hamada (1995) afirma que a massa fresca total é influenciada diretamente pela área foliar, isto é, pelo estado de desenvolvimento da planta, em que a maior área foliar resulta em maior quantidade de material produzido no processo de fotossíntese. Desta forma, como os tratamentos a base de adubação com N, P e K se mostraram menos eficientes do que os tratamentos com água residuária.

Tabela 6. Resumo das análises de variâncias referente à área foliar das plantas aos 28 DAE, (AF28), 35 DAE (AF35), 42 DAE (AF42), 49 DAE (AF49), 56 DAE (AF56), 64 DAE (AF64), 72 DAE (AF72), 79 DAE (AF79), 92 DAE (AF92), 99 DAE (AF99) e 105 DAE (AF105) do gergelim BRS Seda em função de água residuária decantada e adubação com N, P e K.

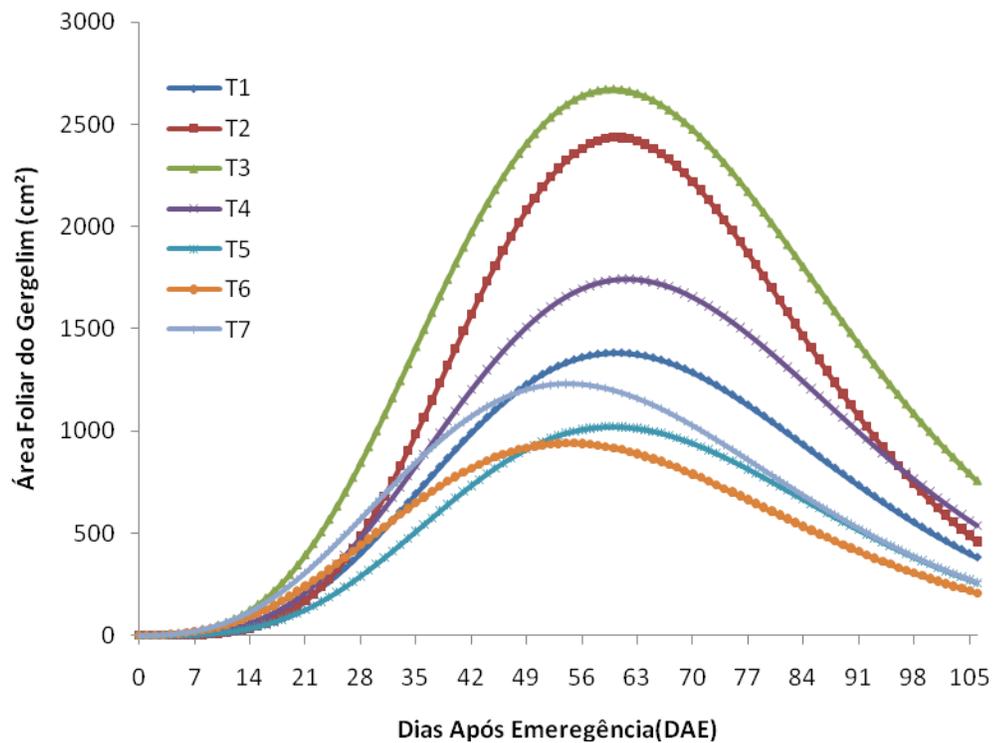
FV	GL	Quadrado Médio											
		AF28	AF35	AF42	AF49	AF56	AF64	AF72	AF79	AF85	AF92	AF99	F105
TRAT	6	153523*	440233*	991882 *	1705320*	2518411*	2010477*	1234760*	660558 *	2189915*	495592*	1041572 <sup>ns</sup>	1070076**
REP	4	70657 <sup>ns</sup>	210220 <sup>ns</sup>	434604 <sup>ns</sup>	675306 <sup>ns</sup>	969506 <sup>ns</sup>	821294 <sup>ns</sup>	628566 <sup>ns</sup>	494965**	436871 <sup>ns</sup>	331475 <sup>ns</sup>	1680391 <sup>ns</sup>	759424 <sup>ns</sup>
RES	24	38309	115963	245274	388434	566856	394108	278539	157558	469977	126204	1358774	382281
TOT	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tratamento		Média (mm)											
T1		402,7b	693,8ab	991,2ab	1228,6ab	1651,7 ab	1356,5 ab	1176,0 ab	778,9a	620,3 bc	627,3 ab	984,3a	994,9a
T2		484,9ab	986,4 ab	1572,1 ab	2082,4 ab	2463,2 ab	2519,7 ab	1580,5 ab	1268,1a	1944,6 ab	989,8 ab	1601,3a	1716,9a
T3		845,0a	1411,3a	1971,8a	2406,4a	2926,3a	2523,7a	2086,3a	1378,5a	2038,0a	1188,8a	1345,2a	1404,9a
T4		478,3ab	832,0 ab	1202,4 ab	1510,0 ab	1860,6 ab	1657,2 ab	1330,4 ab	1176,0a	1480,4abc	943,2 ab	1326,6a	1531,9a
T5		291,9b	510,2b	734,3b	919,1b	1104,8b	953,2b	795,5b	590,6a	710,6abc	382,9b	806,4a	644,0a
T6		442,0b	650,4b	819,9b	919,1b	1044,7b	782,8b	685,9b	480,5a	571,7c	389,5b	742,2a	479,6a
T7		571,7ab	847,3ab	1072,0 ab	1203,2 ab	1307,4b	1150,4b	871,1b	643,7a	610,0bc	533,7 ab	821,2b	957,9a
DMS		415,5	721,2	1046,3	1414,0	1584,0	1352,6	1148,9	909,3	1367,4	790,7	2376,3	1324,0

FV, Fonte de Variação. \*, \*\*, <sup>ns</sup>: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. GL: Grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: Diferença mínima significativa.

Na Figura 6 estão apresentadas, graficamente, as curvas de crescimento para a variável área foliar em função de DAE, nos diferentes tratamentos pela relação de dependência e análise de regressão, o período com maior taxa de crescimento se deu dos 20 DAE aos 64 DAE. Severino et al. (2004) verificaram que o aumento da área foliar, o acúmulo de fitomassa de parte aérea e de frutos na cultura do gergelim ocorre entre 30 e 70 DAE, em cultivar com ciclo de 120 dias, e começa a decrescer após esse período.

A partir dos 14 DAE, o Tratamento T3, irrigado com águas residuária com proporção de 70%, contribuiu para o maior desenvolvimento da massa foliar, vindo em seguida o Tratamento T2, em que estes superaram os demais tratamentos. A água de esgoto doméstico, além de conter nutrientes e matéria orgânica, melhora as características químicas, físicas e biológicas do solo tendo potencial, ainda, para melhorar a produtividade das culturas (COOKE et al., 2001; FACTOR et al., 2008; COAVILLA et al., 2010).

O aumento da AF se deu até os 64 DAE, depois ocorre uma redução gradativa na área foliar do gergelim, se estendendo até o final do experimento (105 DAE). Devido à queda das folhas da parte inferior, que são mais largas e tem um maior comprimento, iniciando-se o processo de diminuição da área foliar, chamado de abscisão foliar. Em estudo realizado com irrigação via água residuária de origem urbana no cultivo de gérberras, Medeiros et al. (2007) verificaram que o esgoto doméstico é um recurso importante no suprimento de nutrientes (principalmente N, P e K), potencializando produtividade compatível ou até superior às técnicas de produção convencional, baseadas no uso de adubação mineral.



**Figura 6. Análise de regressão para a variável área foliar em função do DAE.**

O ajuste dos pontos da área foliar (AF), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações exponenciais ajustadas para a AF, apresentadas graficamente na Figura 6. São representadas pela equação:  $\hat{Y}_{Ti} = Exp(A + Bx + Cx^{0.5})$ .

Onde  $\hat{Y}_{Ti}$  - se refere à área foliar; X - DAE; A, B e C - são coeficientes de ajuste, para cada tratamento, Tabela 7, foram:

Tabela 7. Coeficientes de ajuste da equação  $\hat{Y}_{Ti} = Exp(A + Bx + Cx^{0,5})$  referente à área foliar, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>r<sup>2</sup></b>
<b>T1</b>	-4,91362	-0,2013169	3,1273945	0,85
<b>T2</b>	-8,035446	-0,26203229	4,0737557	0,94
<b>T3</b>	-3,6344775	-0,19256191	2,9794122	0,93
<b>T4</b>	-4,6847097	-0,19692733	3,0934343	0,96
<b>T5</b>	-5,6165466	0,20960131	3,2432502	0,96
<b>T6</b>	-2,6715259	-0,17534925	2,5838686	0,95
<b>T7</b>	-2,6012537	-0,17939849	2,6406398	0,95

Em que  $\hat{Y}_{Ti}$  - se refere à área foliar; X - dias após a semeadura; A, B e C - são coeficientes de ajuste e  $r^2$  é o coeficiente de correlação; T1 a T7 - tratamentos.

O Tratamento T2 é menos eficiente que o Tratamento T3, devido, provavelmente pelo excesso de nutrientes existentes nos efluentes domésticos, tendo em vista que o mesmo tem, segundo a composição das águas de abastecimento e residuária da Tabela 5, o dobro de cloreto de sódio, o que pode acarreta menor desenvolvimento das plantas, cloroses foliares, necrose nas folhas ou não florecimento. Os nutrientes e matéria orgânica existentes na água residuária tende a suprir a baixa fertilidade dos solos encontrados na região semiárida do nordeste brasileiro, aliado ao fato que os pequenos produtores agrícolas não utilizam adubos minerais em suas culturas.

Segundo Sousa et al. (2000), pode-se atribuir essa superioridade à água residuária por ser rica em nutrientes, matéria orgânica e mineral, necessários para o crescimento das plantas.

#### 4.1.2. – Altura da planta



**Figura 7. Altura da planta gergelim BRS Seda.**

A Tabela 8 contém o resumo das análises de variância referente à altura do gergelim em função de dias após emergência (DAE), com tratamentos por água de abastecimento e reuso de água residuária proveniente de esgoto doméstico, adubação mineral (N, P e K) irrigada com água de abastecimento e uma Testemunha irrigada com água de abastecimento sem o uso de adubação mineral (T1), com coletas dos 28 DAE até 105 DAE. Como as demais variáveis a altura da planta foi fortemente influenciada pelos tratamentos de irrigação com água residuária decantada.

Comparando os tratamentos através do teste de Tukey ao nível de 5%, foi possível observar que o Tratamento T3 foi, em média, 20 % superior a Testemunha T1, ocorrendo uma diferença significativa. Estes dados são confirmados por estudo com algodão realizado por Alves et al. (2009) em que a altura das plantas irrigadas com água residuária provenientes de esgoto doméstico, foi superior à altura daquelas irrigadas com água de abastecimento, e não sendo verificado supercrescimento quando irrigadas com lâminas maiores.

Tabela 8. Resumo das análises de variâncias referente à altura de plantas aos 28 DAE (AP28), 35 DAE (AP35), 42 DAE (AP42), 49 DAE (AP49), 56 DAE (AP56), 64 DAE (AP64), 72 DAE (AP72), 85 DAE (AP85), 92 DAE (AP92), 99DAE (AP99) e 105DAE (AP105) do gergelim BRS Seda em função de água residuária decantada e adubação com N, P e K.

FV	GL	Quadrado Médio											
		AP28	AP35	AP42	AP49	AP56	AP64	AP72	AP79	AP85	AP92	AP99	AP105
TRAT	6	30,72*	47,19**	40,24 <sup>ns</sup>	141,93**	419,93**	591,92 <sup>ns</sup>	933,32**	743,76**	626,08**	446,62**	369,39 <sup>ns</sup>	344,25 <sup>ns</sup>
REP	4	5,21 <sup>ns</sup>	12,97 <sup>ns</sup>	145,86**	323,16*	939,18*	2326,23*	1576,43*	1227,80*	670,60**	346,87 <sup>ns</sup>	260,4 <sup>ns</sup>	184,5 <sup>ns</sup>
RES	24	5,78	14,86	36,56	55,88	150,46	303,82	333,68	288,27	200,92	149,24	164,60	194,94
TOT	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tratamento		Média (cm)											
T1		10,14 ab	16,66 ab	24,78a	37,09 ab	45,58 a	70,18 a	81,78 a	93,56 a	104,48 a	113,73 a	116,82 a	121,80 a
T2		10,48ab	16,72 ab	26,92a	43,26 b	64,90 a	86,90 a	109,30 a	121,72 a	130,54 a	135,00 a	139,82 a	144,60 a
T3		10,30 ab	15,22 ab	25,73a	42,82 b	64,78 a	86,08 a	107,58 a	118,84 a	129,94 a	134,82 a	139,42 a	144,58 a
T4		8,32 a	12,56 ab	20,76a	27,48 a	40,50 a	59,07 a	79,74 a	100,38 a	113,72 a	120,66 a	127,64 a	133,40 a
T5		7,60 a	11,98 a	26,16a	35,88 ab	52,40 a	79,08 a	95,32 a	105,02 a	112,06a	118,68 a	125,80 a	133,40 a
T6		7,04 a	11,84 a	25,96a	34,86 ab	50,02 a	68,94 a	78,78 a	89,34 a	103,20 a	112,94 a	124,94 a	132,20 a
T7		14,43b	20,08 b	30,32a	37,82 ab	51,16 a	64,38 a	79,42 a	99,50 a	109,84 a	115,62	122,18 a	128,00 a
DMS		4,88	7,83	12,28a	15,19	24,92	35,41	37,11	34,49	28,79	24,85	26,77	27,88

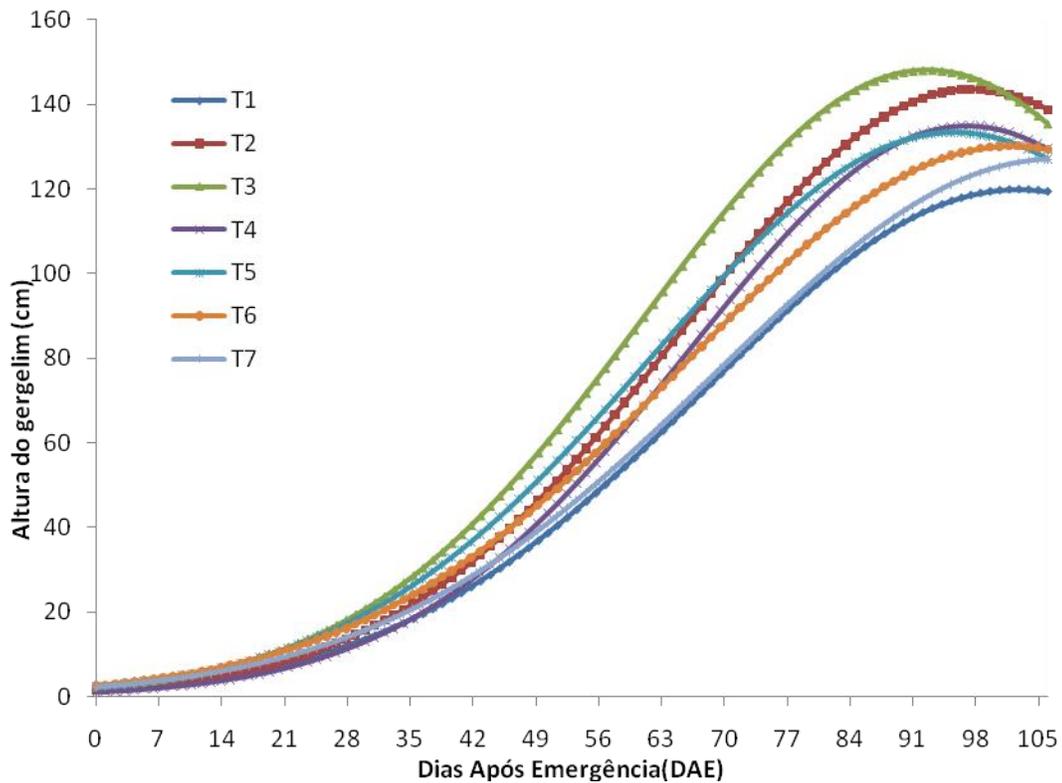
FV, Fonte de Variação. \*, \*\*, <sup>ns</sup>: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. GL: Grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: Diferença mínima significativa.

Na Figura 7 estão apresentados, graficamente, os dados para a variável altura da planta em função de dias após emergência, nos diferentes tratamentos, pela relação de dependência análise de regressão, o período com maior taxa de crescimento se deu dos 35 DAE aos 90 DAE, obtida com o Tratamento T3 (70% de água residuária decantada), superior 17,14% a Testemunha T1 e 13,81% ao Tratamento T7 (N, P e K 100%). O Tratamento T3 foi seguido pelo Tratamento T2, em que estes tratamentos obtiveram uma melhor resposta para cultura.

Com o melhor desenvolvimento por meio do Tratamento T3, a água residuária decantada influenciou sobre a variável altura da planta, fato também verificado em estudo realizado por Ferreira (2003), em que o algodão herbáceo irrigado com água residuária teve um crescimento superior ao irrigado com água de abastecimento. Resta evidenciado que a reposição da necessidade hídrica com água residuária proveniente do esgoto doméstico apresenta nutrientes que ajudam no desenvolvimento do cultivar, favorecendo a variável altura de planta. Outro estudo realizado por Nobre et al. (2010) para verificar a produção do girassol irrigado com afluentes domésticos corrobora que efluente doméstico constitui fonte potencialmente viável ao suprimento nutricional e hídrico de plantas.

Maior altura de plantas irrigadas com água residuária também foi observada por Manios et al. (2006) e Alderfasi (2009) em cultivos de tomate e trigo, respectivamente.

Observa-se que os tratamentos T5, T6 e T7 não interferiram de forma considerável na variável altura da planta, assim a utilização de água residuária influencia no maior desenvolvimento da altura da planta.



**Figura 8. Análise de regressão para a variável altura de plantas em função de DAE.**

O ajuste dos pontos da altura da planta (AP), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações exponenciais ajustadas para a AP, são apresentadas graficamente na Figura 8. São representadas pela equação:  $\hat{Y}_{Ti} = Exp(A + BX + CX^2)$ . Onde  $\hat{Y}_{Ti}$  - se refere à altura da planta; X - DAE; A, B e C - são coeficientes de ajuste, para cada tratamento, Tabela 9, foram:

Tabela 9. Coeficientes de ajuste da equação  $\hat{Y}_{Ti} = Exp(A + BX + CX^2)$  referente à altura da planta, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>r<sup>2</sup></b>
<b>T1</b>	0,43245034	0,00847557754	-0,000041244729	0,99
<b>T2</b>	0,35382234	0,094513814	-0,00048413439	0,99
<b>T3</b>	0,68846241	0,84402045	-0,00041332706	0,99
<b>T4</b>	-0,0046643054	0,091816477	-0,00042924293	0,99
<b>T5</b>	0,81203846	0,077439493	-0,0003674012	0,98
<b>T6</b>	0,92034292	0,7023229	0,00031231513	0,99
<b>T7</b>	0,80049709	0,075635214	-0,00035370122	0,99

Em que  $\hat{Y}_{Ti}$  - se refere à altura da planta; X - dias após a semeadura; A, B e C - são coeficientes de ajuste e r<sup>2</sup> é o coeficiente de correlação; T1 a T7 - tratamentos.

#### 4.1.3 – Diâmetro do caule

A Tabela 10 contém o resumo das análises de variância referente a diâmetro caulinar do gergelim em função do DAE. O diâmetro caulinar, durante todo período de coleta dos 28 DAE até 105 DAE, teve maior desempenho nos tratamentos de irrigação com água residuária decantada, medido a 4 cm da superfície do material de solo, utilizando-se um paquímetro.

Comparando os tratamentos através do teste de Tukey ao nível de 5%, observa-se que o Tratamento T3, em média, foi 22,37 % superior a Testemunha T1, ocorrendo uma diferença significativa. Durante o desenvolvimento e crescimento os tratamentos com irrigação por água residuária tiveram uma contribuição no maior diâmetro caulinar, o Tratamento T4 foi mais

preponderante até 49 DAE, o Tratamento T3 de 49 DAE até 92 DAE e o Tratamento T2 se sobressaiu de 92 DAE até o fim das coletas de dados (105 DAE).

Tabela 10. Resumo das análises de variâncias referente ao diâmetro do colo das plantas aos 28 DAE (DC28), 35 DAE (DC35), 42 DAE (DC42), 49 DAE (DC49) 56 DAE (DC56), 64 DAE (DC64), 72 DAE (DC72), 79 DAE (DC79), 85 DAE (DC85), 92 DAE (DC92), 99 DAE (DC99) e 105 DAE (DC105) do gergelim BRS Seda em função de água residuária decantada e adubação com N, P e K.

FV	GL	Quadrado Médio											
		DC28	DC35	DC42	DC49	DC56	DC64	DC72	DC79	DC85	DC92	DC99	DC105
TRAT	6	10,70**	10,17**	9,59**	8,97**	8,32**	7,73*	7,95*	8,23*	8,10*	7,50*	7,09*	6,53*
REP	4	19,65*	18,65*	17,35*	15,76*	13,95*	11,94*	9,07*	6,58*	4,97**	4,42**	4,37**	4,61**
RES	24	4,17	3,76	3,29	2,79	2,29	1,85	1,38	1,26	1,28	1,29	1,31	1,26
TOT	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tratamento		Média (mm)											
T1		4,59 a	5,00 a	5,47 a	6,01a	6,64 a	7,38 a	7,99 a	8,83 ab	9,08 a	9,52 a	9,84 a	10,16 a
T2		5,38 a	7,22 a	7,66 a	8,17 a	8,72 a	9,34 ab	10,18 ab	10,91 bc	11,70 b	12,14 b	12,35 b	12,60 a
T3		7,86 a	8,21	8,60 a	9,05 a	9,54 a	10,10 b	10,76 c	11,50 c	11,77b	12,05 ab	12,32 b	12,56 a
T4		8,24 a	8,49 a	8,75 a	9,01 a	9,29 a	9,58 ab	9,93 ab	10,46 abc	10,75 ab	10,90 ab	11,16 ab	11,58 a
T5		5,95 a	6,25 a	6,59 a	6,97 a	7,39 a	7,86 ab	8,22 a	8,84 ab	9,61 ab	9,85 ab	10,20 ab	10,76 a
T6		4,90 a	5,40 a	5,80 a	6,24 a	6,71 a	7,22 a	7,82 a	8,48 a	8,99 a	9,44 a	9,84 a	10,06 a
T7		4,98a	5,36 b	5,77 a	6,22 a	6,70a	7,22 a	7,92 a	8,42 a	8,90 a	9,38 a	9,59 a	10,03 a
DMS		5,03	4,86	4,61	4,32	3,07	2,77	2,39	2,28	2,30	2,31	2,32	2,65

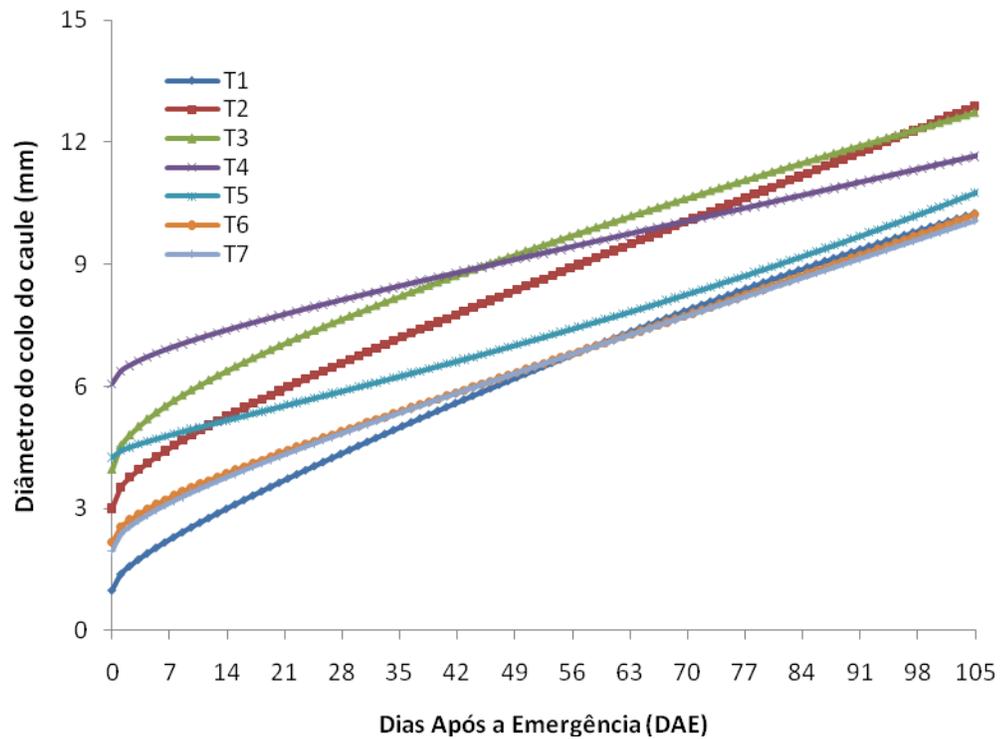
FV, Fonte de Variação. \*, \*\*, <sup>ns</sup>: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. GL: Grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: Diferença mínima significativa.

Na Figura 9 estão apresentados, graficamente, os dados para a variável diâmetro do caule (DC) em função de DAE, nos diferentes tratamentos, pela relação de dependência análise de regressão, o período com maior taxa de crescimento se deu dos 35 DAE aos 90 DAE. O Tratamento T3 foi seguido pelo Tratamento T2, onde estes tratamentos obtiveram uma melhor resposta para cultura.

Observa-se que o diâmetro caulinar teve um melhor efeito sob irrigação com água residuária decantada, verificando-se que a partir do 95 DAE ocorreu o melhor efeito do Tratamento T3 foi mais eficiente 22,37% que a Testemunha T1. Nesta mesma ótica Fideles Filho et al. (2005), em experimento com o cultivar algodão BRS Verde, observaram maiores valores de diâmetro caulinar das plantas irrigadas com efluente decantado em comparação com água de poço.

O Tratamento T4 teve um bom desempenho até 42 DAE. Já o Tratamento T5 superou os tratamentos com adubação mineral e a Testemunha T1.

König et al. (1997) evidenciam a capacidade de fertirrigação do esgoto doméstico tratado devido a seu alto conteúdo de nutrientes dissolvidos e armazenados em compostos orgânicos, os quais são liberados lentamente com a decomposição do material carbonáceo no solo, possibilitando implantar sistemas de reuso planejado com a finalidade de reduzir as adversidades climáticas das regiões áridas e semiáridas na produção agrícola, reduzir a poluição de corpos aquáticos e gastos com fertilizantes químicos.



**Figura 9. Análise de regressão para a variável diâmetro do caule em função do DAE.**

O ajuste dos pontos do diâmetro do colo do caule (DC), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações exponenciais, e essas equações ajustadas para a DC, como apresentada na Figura 9. São representadas pela equação:  $\hat{Y}_{Ti} = Exp(A + BX + CX^{0.5})$ .

Onde  $\hat{Y}_{Ti}$  - se refere ao DC; X - DAE; A, B e C - são coeficientes de ajuste, para cada tratamento, Tabela 11, foram:

Tabela 11. Coeficientes de ajuste da equação  $\hat{Y}_{Ti} = Exp(A + Bx + Cx^{0.5})$  referente ao diâmetro do caule, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>r<sup>2</sup></b>
<b>T1</b>	-0,0066389956	0,010443904	-0,33487872	0,95
<b>T2</b>	1,1014594	-0,001200605	0,15432144	0,93
<b>T3</b>	1,3747343	-0,0021649244	0,13622867	0,88
<b>T4</b>	1,8029793	0,0017261046	0,046020295	0,64
<b>T5</b>	1,44918	0,0059385452	0,04020295	0,80
<b>T6</b>	0,77231521	-0,00055367167	0,1571632	0,94
<b>T7</b>	0,067289239	-0,0022812132	0,18326305	0,95

Em que:  $\hat{Y}_{Ti}$  - se refere ao diâmetro do caule; X - dias após a semeadura; A, B e C - são coeficientes de ajuste e  $r^2$  é o coeficiente de correlação; T1 a T7 - tratamentos.

#### 4.1.4 – Variáveis de produção

A Tabela 12 contém o resumo das análises de variância referente ao peso das sementes, peso da matéria seca e peso de 100 sementes do gergelim em função de tratamentos. A dispersão dos dados, indicada pelo coeficiente de variação (33,38%), relacionada com a precisão experimental para o peso das sementes tem alta dispersão, a matéria seca tem dispersão moderada (19,30%) e o peso de 100 sementes tem pequena dispersão (9,89%). A dispersão alta ou moderada se deve ao fato dos tratamentos com água residuária proporcionarem um melhor desempenho do cultivar, comparado com o Tratamento com adubação mineral e irrigação com água de abastecimento.

Tabela 12. Resumo das análises de variâncias referente ao peso das sementes (PS), peso da matéria seca (MS) e peso de 100 sementes (PCS) do gergelim BRS Seda em função de água residuária decantada e adubação com N, P e K.

FV	GL	Quadrado Médio		
		PS	MS	PCS
TRAT	6	80,48*	287,77*	0,0008 <sup>ns</sup>
REP	4	17,68 <sup>ns</sup>	12,00 <sup>ns</sup>	0,0008 <sup>ns</sup>
RES	24	16,95	32,08	0,0011
TOT	34	-	-	-
CV(%)	-	32,38	19,30	9,89
Peso (g)				
T1		10,45 abc	20,37 ab	0,321 a
T2		16,87 bc	33,37 bc	0,343 a
T3		18,72 c	42,77 c	0,346 a
T4		14,45 abc	30,78 ab	0,345 a
T5		9,94 ab	30,03 ab	0,334 a
T6		7,87 a	20,03 a	0,334 a
T7		10,73 abc	26,03 ab	0,315 a
DMS		8,36	11,51	0,064

FV, Fonte de Variação. \*, \*\*, <sup>ns</sup>: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. GL: Grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: Diferença mínima significativa.

#### 4.1.5 – Peso das sementes (PS)

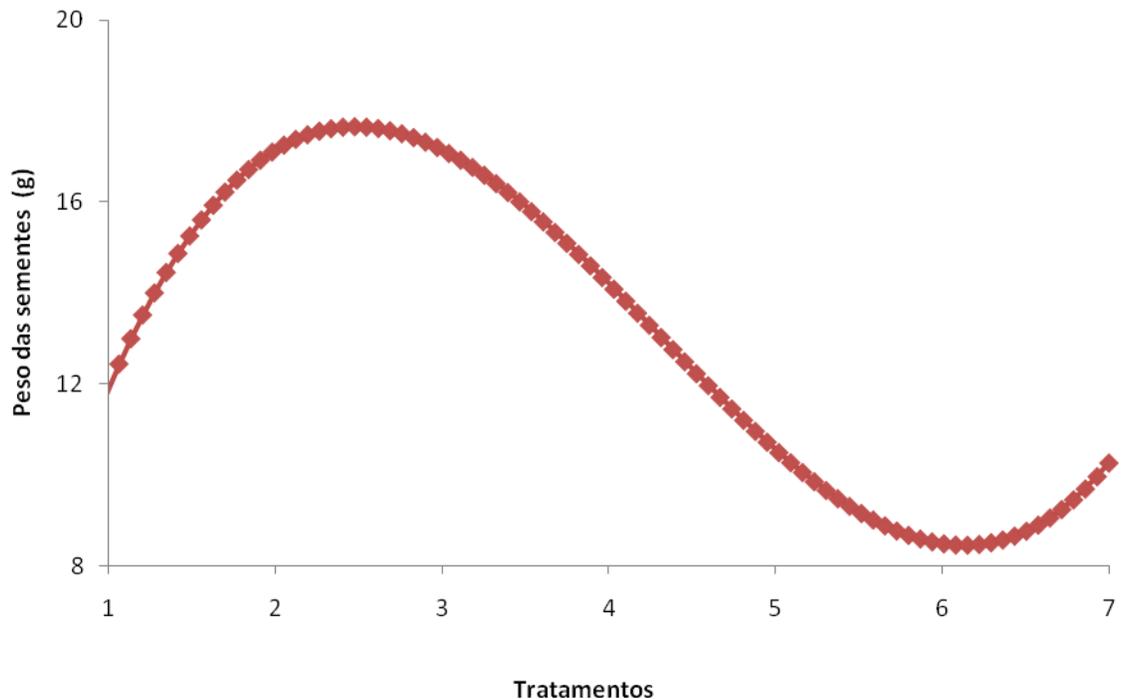
A qualidade da água de irrigação influenciou no peso das sementes do gergelim. A melhor resposta da cultura foi obtida quando as plantas estão submetidas à irrigação com água residuária decantada em relação à água de abastecimento. Conforme observado na Tabela 12, o peso médio das sementes comparados entre os tratamentos com irrigação por água residuária decantada (T2, T3 e T4), e adubação por N, P e K irrigado com água de abastecimento, T5, T6 e T7, ocasionou um incremento médio de 43% do peso das sementes.



**Figura 10. Os frutos e sementes do gergelim.**

A comparação dos tratamentos através do teste de Tukey ao nível de 5%, a variação do peso das sementes em g por planta, estão apresentados na Figura 11. Observa-se que a maior produção do cultivar gergelim BRS Seda teve melhor comportamento quando a planta foi irrigada com água residuária decantada, ou seja, para os tratamentos T2, T3 e T4, respectivamente irrigados com 100%, 70% e 50% de água residuária. Este resultado demonstra que o reuso de água residuária decantada é mais eficiente e gera um maior ganho de peso das sementes.

O coeficiente de variação (CV) ficou em torno de 32%, Tabela 12, o que indica elevada dispersão dos valores médios de peso das sementes entre os tratamentos, devido o peso médio das sementes ter maior valor com o tratamento com água residuária frente aos demais tratamentos irrigados com água de abastecimento e aplicação de N, P e K.



**Figura 11. Análise de regressão para a variável peso das sementes em função dos tratamentos.**

O ajuste dos pontos do peso das sementes (PS), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações exponenciais ajustadas para o PS, como apresentada na Figura 11. São representadas pela equação:  $\hat{Y} = A + BX + CX^2 + DX^3$ . Onde  $\hat{Y}$  - se refere ao peso das sementes; X - Tratamentos; A, B, C e D - são coeficientes de ajuste para cada tratamento, Tabela 13, foram:

Tabela 13. Coeficientes de ajuste da equação  $\hat{Y} = A + BX + CX^2 + DX^3$  referente ao peso das sementes, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>r<sup>2</sup></b>
<b>T</b>	-0,747442424	17,1181151	-4,869329	0,37709596	0,97

Em que:  $\hat{Y}$  - se refere ao peso das sementes; X - Tratamentos; A, B e C - são coeficientes de ajuste e r<sup>2</sup> é o coeficiente de correlação.

#### 4.1.6 – Matéria seca (MS)

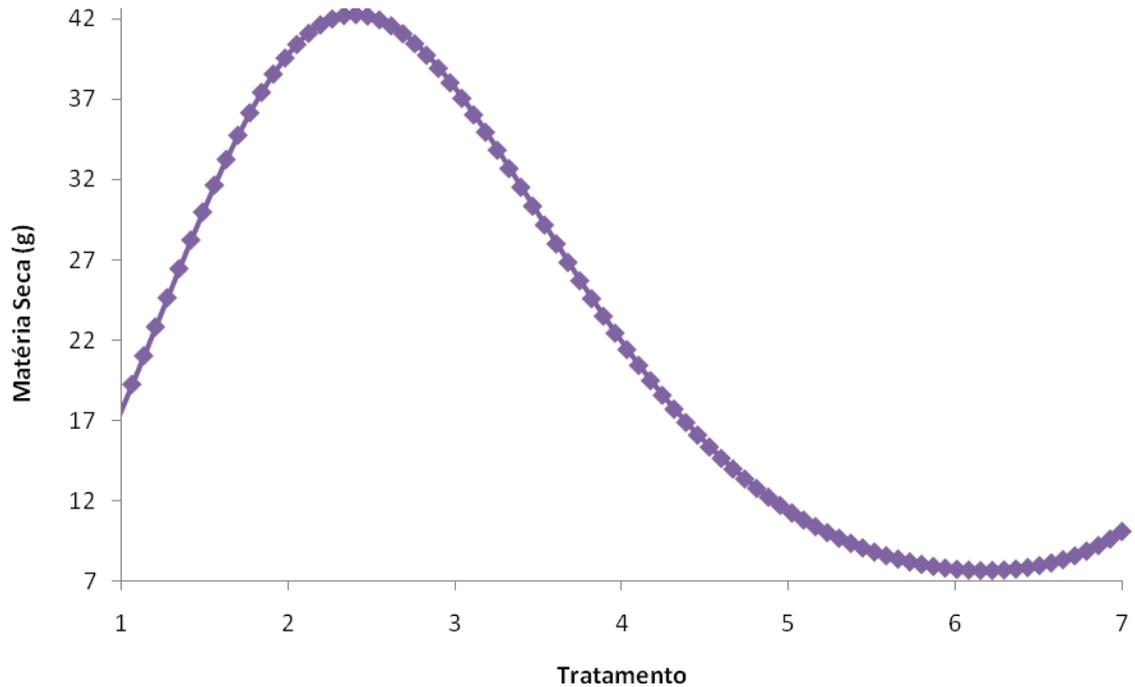
Ao final dos 105 DAE os restos culturais de cada tratamento foram levados a secar na estufa com circulação de ar forçado à temperatura de 55°C, até alcançar peso constante para obtenção da matéria seca total. Sendo pesada em balança de precisão (0,01%). O coeficiente de variação (CV) ficou em torno de 19%.



**Figura 12. Processo de secagem em estufa da matéria aérea e raízes.**

Comparando os tratamentos através do teste de Tukey ao nível de 5%, relativos à matéria seca da parte aérea e de raízes do gergelim ao final do ciclo da cultura em função dos tratamentos aplicados (Figura 13), mostrou que o Tratamento T3 foi 52,37% superior a Testemunha (T1), seguidas pelos tratamentos com água residuária a 100% (T2) e a 50% (T4). Evidenciando que a irrigação com água residuária decantada é um fator que influencia o aumento da produção dessa oleaginosa, tendo um grande potencial para aplicação na agricultura. Ressaltando que a água residuária tratada deve ser utilizada para irrigação de culturas que não são ingeridas “*in natura*”.

Alves (2006) avaliando os efeitos da aplicação de quatro lâminas de água residuária e diferentes níveis de fertilizante mineral no desenvolvimento de algodoeiro herbáceo observou que, ao final do ciclo da cultura, a biomassa total das plantas que receberam efluente doméstico superou aquelas fertilizadas com adubo mineral e irrigadas com água de abastecimento.



**Figura 13. Análise de regressão para a variável matéria seca em função dos tratamentos.**

O ajuste dos pontos da matéria seca (MS), para os sete tratamentos, foi realizado através de uma equação exponencial ajustadas para o MS, representada graficamente na Figura 13. Pela equação:  $\hat{Y} = A + BX + CX^2 + DX^3$ .

Onde  $\hat{Y}$  - se refere à matéria seca; X - Tratamentos; A, B, C e D – são coeficientes de ajuste para cada tratamento, Tabela 14, foram:

Tabela 14. Coeficientes de ajuste da equação  $\hat{Y} = A + BX + CX^2 + DX^3$  referente à matéria seca, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>r<sup>2</sup></b>
<b>T</b>	-1,6042424	32,75246	-8,4461472	0,61429293	0,93

Em que  $\hat{Y}$  - se refere à matéria seca; X - Tratamentos; A, B e C - são coeficientes de ajuste e r<sup>2</sup> é o coeficiente de correlação.

Em experimento realizado por Benicasa (1988) com o quiabeiro irrigado com esgoto tratado, apresentou durante as análises maior quantidade de matéria seca e quanto maior a fitomassa, melhor o desenvolvimento e produtividade da cultura. Corroborando com os resultados obtidos na cultura do gergelim quando irrigado com água residuária onde a aplicação de efluentes no solo ocasiona ao sistema solo-planta, o fornecimento de água e nutrientes que poderão ser usados pela planta para a produção de matéria seca.

#### 4.1.7 – Peso de 100 sementes (PCS)



**Figura 14. Balança utilizada para executar as pesagens no experimento.**

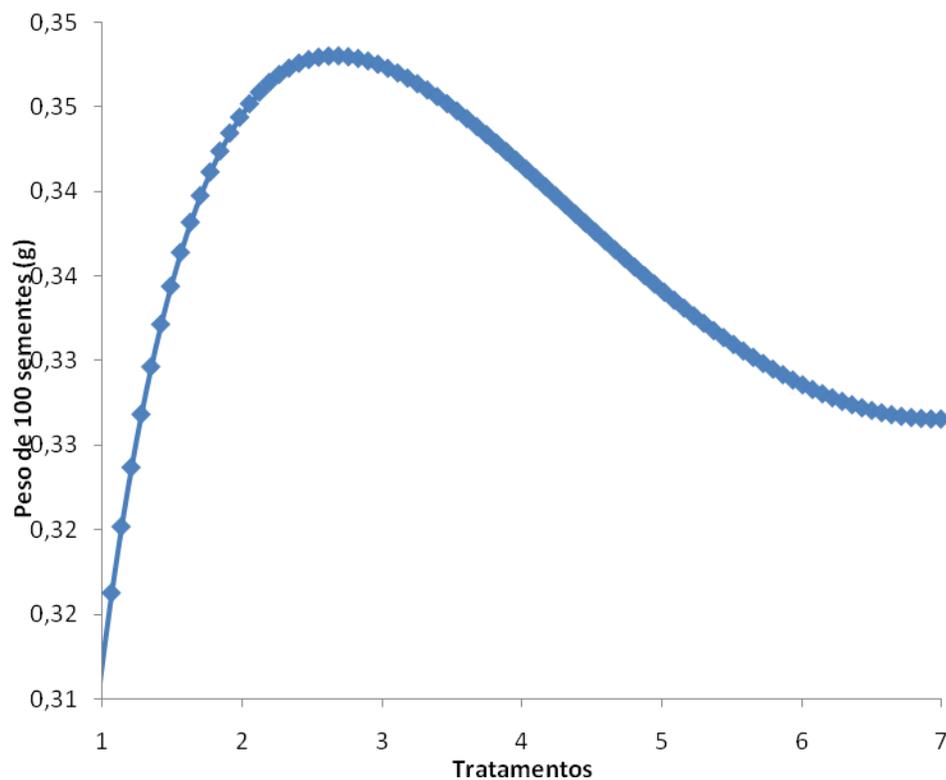
A variação do peso de 100 sementes em relação aos tratamentos T1 a T7 está apresentada na Figura 15, onde se observa que o peso medido é maior nos tratamentos que utilizaram água residuária, destacando-se o Tratamento T3 (água residuária a 70%).

Os valores médios do peso de 100 sementes em gramas por planta, nos tratamentos, comparados através do teste de Tukey ao nível de 5%, mostrou que o Tratamento T3 teve seu

peso 7,22%, superior o da Testemunha T1. Conforme observado na Tabela 12, esse peso comparado entre os tratamentos com irrigação por água residuária decantada - T2, T3 e T4, e a adubação por N, P e K irrigado com água de abastecimento - T5, T6 e T7, ocasionou um incremento médio de 4,93% no peso de 100 sementes.

Em estudo realizado por Sousa et al. (2003) com a irrigação com esgotos sanitários na cultura do alface foi constatado que a maior fitomassa, e conseqüente maior produtividade, foram atribuídas às plantas cultivadas em solos irrigados com esgotos decantados. Fato que se alia aos dados encontrados nesse experimento.

O coeficiente de variação (CV), Tabela 12, relacionado com a precisão experimental, foi de 9,89%, o que demonstra que o peso de 100 sementes está concentrado, sem grandes variações entre os tratamentos.



**Figura 15. Análise de regressão para a variável peso de 100 sementes em função dos tratamentos.**

O ajuste dos pontos do peso de 100 sementes (PCS), para os sete tratamentos, foi realizado através de equações ajustadas para o PP, como apresentada na Figura 15. São representadas pela equação:  $\hat{Y} = A + BX + CX^{1.5} + DX^{0.5}$ . Onde  $\hat{Y}$  - se refere ao peso de 100 sementes; X - Tratamentos; A, B, C e D – são coeficientes de ajuste, para cada tratamento, Tabela 15, foram:

Tabela 15. Coeficientes de ajuste da equação  $\hat{Y} = A + BX + CX^{1.5} + DX^{0.5}$  referente ao peso de 100 sementes, dos Tratamentos e o coeficiente de determinação.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>r<sup>2</sup></b>
<b>T</b>	0,000954557062	-0,26549026	0,41402541	0,53565718	0,99

Em que:  $\hat{Y}$  - se refere ao peso de 100 sementes; X - Tratamentos; A, B e C - são coeficientes de ajuste e  $r^2$  é o coeficiente de correlação.

#### 4.2 – Tratamentos com melhores médias das variáveis analisadas

Diante dos resultados obtidos e considerando todas as variáveis analisadas neste experimento, o melhor tratamento é o Tratamento T3, que corresponde à irrigação com 70% de água residuária e 30% de água de abastecimento, com 0% de adubação mineral (Tabela 16).

Tabela 16. Tratamentos em que as variáveis analisadas apresentam maiores médias.

VARIÁVEL	TRATAMENTO <sup>4</sup>
Área foliar	T3
Altura da planta	T3
Diâmetro do caule	T3
Peso das sementes	T3
Massa seca	T3
Peso de 100 sementes	T3

Assim pode-se dizer que a análise das variáveis de produção e de crescimento do cultivar gergelim BRS Seda quando irrigado com água residuária decantada a 70% (Tratamento 3) obteve as melhores médias, indicando que o esgoto doméstico é uma fonte de nutrientes que proporciona um efeito positivo no crescimento e desenvolvimento das plantas. Nascimento et al. (2010), verificaram que a irrigação do gergelim com água residuária proporciona um melhor crescimento e produção desta cultura, maior que as parcelas experimentais que receberam outro tipo de tratamento.

<sup>4</sup> Corresponde ao tratamento com os maiores médias dos valores das variáveis analisadas.

## 5 – CONCLUSÃO

Com base nos dados apresentados e discutidos nesta pesquisa, pode-se chegar às seguintes conclusões:

De forma geral, a irrigação com esgoto doméstico contribui com a preservação do meio ambiente e acarretou efeito positivo no crescimento vegetativo e desenvolvimento do gergelim.

O gergelim apresentou maiores médias de altura, diâmetro caulinar, área foliar, matéria seca e peso de grãos, quando irrigado com água residuária decantada, indicando que o esgoto doméstico é uma fonte de nutrientes que proporciona um efeito positivo no crescimento e desenvolvimento das plantas.

O uso da água residuária na irrigação de culturas contribui para a sustentabilidade do meio ambiente e dá um maior retorno econômico comparado à produção com adubação mineral. Os melhores efeitos desse tipo de irrigação do gergelim podem ser verificados no Tratamento T3 com 70% de água residuária, que proporcionou as melhores médias nas variáveis altura da planta, diâmetro caulinar, área foliar, matéria seca e peso das sementes.

O Tratamento T2, composto por 100% de água residuária, é menos eficiente que o Tratamento T3, devido, provavelmente, ao excesso de nutrientes e matéria orgânica existentes nos efluentes domésticos, e demonstram a influência das elevadas concentrações destes fertilizantes na irrigação.

Os tratamentos com uso do adubo mineral (N, P e K) obtiveram resultados inferiores aos tratamentos com água residuária decantada, indicando que o reuso da água proveniente do esgoto doméstico supre nutrientes, superando as técnicas de produção convencional, baseadas no uso de adubação mineral.

## 6 – REFERÊNCIAS

- ALCOFORADO FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. **Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco.** Acta Botânica Brasílica, São Paulo, v.17, p.287-303, 2003.
- ALDERFASI, A. A. **Agronomic and economic impacts of reuse secondary treated wastewater in irrigation under arid and semi-arid regions.** World Journal of Agricultural Sciences, v.5, n.3, 2009, p.369-374.
- ALVES, W. W. A. **Fertirrigação com água residuária na cultura do algodão de fibra marrom.** 191p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais: UFCG, 191p. 2006.
- ALVES, W. W. A.; AZEVEDO C. A. V.; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A.; SOUSA, J. S. C. **Altura da planta do algodoeiro de fibra marrom irrigado com água residuária doméstica tratada.** **Revista Verde** (Mossoró - RN), v.4, n.1, p. 28-32 jan.-mar. de 2009.
- ANDRADE, P. B. **Potenciais polinizadores e requerimentos de polinização do Gergelim (*Sesamum indicum*).** 2009. 75p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- ARRIEL, N. H. C.; ANDRADE, F. P., FARIAS, F. J. C.; COSTA, I. T.; GUEDES, A. R. **Aderência placentar das sementes e componentes de produção em progênies de gergelim.** **Rev. Ol. Fibras.** Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 133-139, mai.-ago. 1998.
- ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. M.; FIRMINO, P. T. **Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009, 209p.
- BARBER, S. **Soil Nutrient. Bioavailability: a mechanistic approach.** New York, J. Wiley, 1984. 398 p.
- BELTRÃO, N. E. M. **Agronegócio das Oleaginosas no Brasil.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 14-17, 2005.
- BELTRÃO, N. E. M.; NÓBREGA, L. B.; SOUSA, R. P.; SOUZA, J. E. G. **Efeitos da adubação, configuração de plantio e cultivares na cultura do gergelim no nordeste do Brasil.** Campina Grande: Embrapa Algodão. Boletim de Pesquisa, 21. 1989. 23p.
- BELTRÃO, N. E. M.; VIEIRA, D. J. **O agronegócio do gergelim no Brasil.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 348 p.

- BELTRÃO, N. E. M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. P.; SOARES, J. J.; SILVA, O. R. RIBEIRO, F. **O Cultivo Sustentável da Mamona no Semiárido Brasileiro**. Embrapa Algodão (Circular Técnica, 84), Campina Grande, 2006. 22p.
- BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, E. C.; LIMA, E. F. **Gergelim cultura no trópico semiárido nordestino**. Campina Grande: Embrapa-CNPA (Circular Técnica, 18), 1994. 52p.
- BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, E. C.; LIMA, E. F. **Cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) no nordeste do Brasil**. Campina Grande: Embrapa-CNPA (Circular Técnica, 12), 1986. 18p.
- BELTRÃO, N. E. M.; ARAÚJO, A. E. **Zoneamento Agrícola**. Campina Grande: Embrapa (Documento 126), mai. 2004.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas: Noções Básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 42p. 1988.
- BERNARDI, C. C. **Reuso de Água para Irrigação**. 2003. 63p. Monografia (MBA) – ISEA/FGV. Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, com área de concentração em Planejamento Estratégico. Brasília.
- BERNSTEIN, I. Crops Growth and Salinity. In: **Schilfgarde, I Vam ed Drenaige for Agriculture**. Madison: American Society of Agronomy (ASA), 17. p. 39-99, 1974.
- BEZERRA, B. G; FIDELES FILHO, J. Análise de crescimento da cultura do algodoeiro irrigada com águas residuárias. **Ciênc. Agron. Fortaleza**, v. 40, n. 3, p. 339-345, jul.-set. 2009.
- BEZERRA, S. A. **Crescimento e Desenvolvimento do Gergelim em Estresse Hídrico em Substrato de Biossólido e Adubo Químico**. 2008, 60p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande.
- CANTARELLA, H. Adubação e calagem do girassol. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GIRASSOL, 3. REUNIÃO NACIONAL DE GIRASSOL, 15. **Anais...** Ribeirão Preto. 2003.
- CASARILI, D.; LIER, Q. J. Critérios para Determinação da Capacidade de Vaso. *Revista Bras. Ci. Solo*, p.59-66, 2008.
- CHEYI, R. H.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. 383p.
- COAVILLA, F.; SAMPAIO, S. C.; SMANHOTTO, A.; NÓBREGA, L. H. P.; QUEIROZ, M. M. F.; GOMES, B. M. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande - PB, UAEA/UFCG v.14, n.7, p.692–697, 2010.

COOKE, C. M.; GOVE, L.; NICHOLSON, F. A.; COOK, H. F.; BECK, A. J. **Effect of drying and composting biosolids on movement of nitrate and phosphate through repacked soil columns under steady-state hydrological conditions.** Chemosphere, v.44, p.757-804, 2001.

COSTA, M. P. **Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo.** 1983. 137p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

DUTRA, L. F.; TAVARES, S. W.; SARTORETTO, L. M.; VAHL, L. C. Resposta do feijoeiro ao fósforo em dois níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 1, n. 2, p. 91-96, mai.-ago. 1995.

EMBRAPA ALGODÃO (Campina Grande - PB). **Gergelim**: apresentação do produto. Campina Grande, 2003. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/gergelim/apresentacao.html>>. Acesso em: 20 ago. 2009.

\_\_\_\_\_. **Gergelim BRS Seda.** Campina Grande, 2007. 1 Folder.

EPSTEIN, L. **Cultura Gergelim.** SEAGRI - BA. Salvador, 2000, 10p. <<http://www.seagri.ba.gov.br/gergelim.htm>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

FACTOR, T. L.; ARAÚJO, J. A. C. de; VILELLA JÚNIOR, L. V. E. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.143-149, 2008.

FERNÁNDEZ, S.; VIDAL, D.; SIMÓN, E. Sugrañes, L. **Radiometric characteristics of Triticum aestivum cv. Astral under water and nitrogen stress.** International Journal of Remote Sensing, London, v.15, n.9, p.1867-1884, 1994.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: Um programa para análises e ensino de estatística. Revista Symposium (Lavras), v. 6, p. 34-41, 2008.

FERREIRA, O. E. **Efeitos da aplicação de água residuária doméstica tratada e adubação nitrogenada na cultura do algodão herbáceo e no meio edáfico.** 2003. 78p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Campina Grande: UFCG.

FIDELIS FILHO, J.; NÓBREGA, J. Q.; SOUSA, J. T.; DANTAS, J. P. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB. v. 9, p. 328-332, (Suplemento), 2005.

- FIRMINO, P. T.; SOUZA, W. J. B. DE; SILVA, A. C.; ALMEIDA, K. V.; TOTÔNIO, M. A.; QUEIROGA, V. P. Estudo das sementes de gergelim BRS Seda orgânicas produzidas no sertão piauiense. **IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas**. p. 2084-2087. 2010.
- FREIRE, M. L. F.; FIDELES FILHO, J.; BELTRÃO, N. E. M.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A.; SOUZA, W. S. Alterações espectrais da folha do amendoineiro causada por doses de cálcio e fósforo em condições de casa de vegetação. In: **XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Fortaleza. CD-ROM, 12p. 2004.
- FONSECA, S. P. P. **Tratamento de esgoto por disposição no solo**. Viçosa: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, 2005. 40p.
- GODOY, I. J.; SAVY FILHO, A.; TANG, J. S.; UNGARO, M. R. G.; MARIOTTO, P. R. **Programa integrado de pesquisa: Oleaginosas**. São Paulo: Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária, 33p. 1985.
- GUERRA, M. J. **Estudo das propriedades físico químicas das proteínas do gergelim (*Sesamun indicum*, L.)**. 1974. 67p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- HAMADA, E. Desenvolvimento e produtividade da alface submetida a diferentes lâminas de água através da irrigação por gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.9, n.30, p. 1201-1209, 1995.
- HESPAHOL, I. . **Saúde pública e reuso agrícola de esgotos e biossólidos**. In: Mancuso, P. S.; Santos, H.F. (Org.). Reuso de água. São Paulo: Manole, 2002, v. , p. 75-87.
- JACOMINE, P. K. T. **Solos sob caatingas - características e uso agrícola**. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Org.) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS/UFV/DPS, 1996. p. 95-115.
- KÖNIG, A.; CEBALLOS, B. S. O.; SANTOS, A. V.; CAVALCANTE, R. B.; ANDRADE, J. L. S.; TAVARES, J. L. **Uso de esgotos tratados como fonte de água não convencional para irrigação de forrageiras**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 2072-2081, 1997.
- LAPERUTA NETO, J. **Estudo do uso do lodo de estações de tratamento de água e de esgoto urbano nas propriedades químicas do solo**. 2006, 96p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu.

- LEITE, V. D.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B., SILVA, J. B. P. **Tratamento de Águas Residuárias Domésticas para Reuso na Agricultura: Alternativa para o Nordeste do Brasil.** Roteiro - Campina Grande, v. U, p. 67-72, 2003.
- MANIOS, T.; PAPAGRIGORIOU, I.; DASKALAKIS, G.; SABATHIANAKIS, I.; TERZAKIS, S.; MANIADAKIS, K.; MARKAKIS, G. **Evaluation of primary and secondary treated and disinfected wastewater irrigation of tomato and cucumber plants under greenhouse conditions, regarding growth and safety considerations.** Water Environment Research, v.78, n.8, p. 797-804, 2006.
- MEDEIROS, S. S.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. **Uso de água residuária de origem urbana no cultivo de gérberras: efeito nos componentes de produção.** Ver. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v.27, n.2, p. 569-578, mai.-ago. 2007.
- MONTEIRO, J. M. G. **Plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semiárido nordestino para produção de biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.** 2007. 302p. Tese (Doutorado em Ciências e Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- NASCIMENTO, J. J. V. R.; CRUZ, R. N.; AZEVEDO, C. A. V.; LIMA, V. L. A. **Adubação residual com torta de mamona e irrigação com água residuária sobre os componentes de produção de gergelim.** In: Congresso Brasileiro de Mamona, 4; Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1, João Pessoa. **Anais...** p. 436-441.
- NAVARRO, A. E.; CEZÁRIO, I. C.; PAZETO, L. W.; SILVA, R. L.; STEINBACH, R. **As fontes alternativas de energia no CEFET/SC.** Florianópolis, 2005.
- NOBRE, R. G.; GHEYI H. G.; SOARES F. A. L.; ANDRADE, L. O. A.; NASCIMENTO, E. C. S. **Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.14, n.7, p. 747-754, 2010 Campina Grande - PB, UAEEA/UFCG.
- PINTO, C. de M. **Respostas Morfológicas e Fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica.** 2006. 84p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- QUEIROGA, V. P.; SILVA, O. R. R. F. **Tecnologias utilizadas no cultivo do gergelim mecanizado.** Campina Grande: Embrapa Algodão (Documentos, 203), 2008. 140p.

- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: UFSM, 2006, 18p.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, Potafos, 1991. 343p.
- SANTOS, M. S. **Crescimento e Produção de Gergelim sob Irrigação com Água Residuária Tratada e Adubação com Torta de Mamona**. 2009. 77p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO G. D.; FARIAS, V. A.; LIMA C. L. D. **Estudo da Fenologia do Gergelim (*Sesamum indicum* L.) Cultivar CNPA G4**. In: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 54. Campina Grande: Embrapa Algodão, 15 p. 2004.
- SILVA, L. C. Um Método Simples para se Estimar Área Foliar de Plantas de Gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Rev. bras. ol. fibros**. Campina Grande, v.6, n.1, p. 491-496. jan.-abr. 2002.
- SILVA, S. D. Qualidade de Sementes de Gergelim (*Sesamum indicum* L.) Provenientes de Plantas Adubada com Esterco Bovino. Congresso Brasileiro de Mamona, 1; Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 4, 2010, João Pessoa. **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, p. 794-799, 2010.
- SILVA, V. de P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.1, n.58, p. 575-596, 2004.
- SINGH, H.; BUPTA, M. L.; RAO, A. N. K. Effect of N, P and K on the yield and oil content. Of sesame. **Indian J. Agron**. 1960, p. 176-181.
- MAGALHÃES, I. D.; COSTA, F. E.; ALVES, G. M. R.; ALMEIDA, A. E. S.; SILVA, S. D.; SOARES, C, S.; Produção do gergelim orgânico sob condições semiáridas. Congresso Brasileiro de Mamona, 4; Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1. João Pessoa. Inclusão Social e Energia: **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 749-754.
- SOUSA, J. T.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S.; CEBALLOS, B. S. O.; FIGUEIREDO, A. M. F. Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários na Irrigação da Cultura da Alface (*Lactuca sativa* L). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22. Joinville. **Anais...** 2003. 13p.
- SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S. Reuso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p. 89-96, 2006.

SOUSA, J. T.; LEITE, V. D. **Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura.** Campina Grande: EDUEP, 2003. 135p.

SOUSA, J. T.; LEITE, V. D.; DANTAS, J. P.; DIONÍSIO J. A.; MENEZES, F. G. Reuso de efluente de esgoto sanitário na cultura de arroz. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, **Anais...** Porto Seguro: 2000 v.1, p. 1058-1063.

TURNER, N.C. Adaptation to water deficits: A changing perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, p. 175-190, 1986.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão da Água no Brasil.** Brasília: UNESCO, 2001. 156p.