

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DANIEL DA COSTA DANTAS**

**PRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE GIRASSOL IRRIGADO COM ESGOTO  
DOMÉSTICO TRATADO**

RECIFE - PE

2014

DANIEL DA COSTA DANTAS

PRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE GIRASSOL IRRIGADO COM ESGOTO  
DOMÉSTICO TRATADO

Tese apresentada à Universidade Federal Rural  
de Pernambuco, como parte das exigências  
para obtenção do grau de Doutor em  
Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. D.Sc. Ênio Farias de França  
e Silva

Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>.Sc. Ralini Ferreira  
de Mélo

RECIFE – PE

2014

Ficha catalográfica

D192p Dantas, Daniel da Costa  
Produção e desenvolvimento de girassol irrigado com  
esgoto doméstico tratado / Daniel da Costa Dantas. – Recife,  
2014.  
159 f. : il.

Orientador: Ênio Farias de França e Silva.  
Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
de Engenharia Agrícola, Recife, 2014.  
Inclui referências e apêndice(s).

1. *Helianthus annuus* L. 2. Reuso de água 3. Irrigação  
4. Tratamentos de esgotos domésticos I. Silva, Ênio Farias  
de França e, orientador II. Título

CDD 631

DANIEL DA COSTA DANTAS

PRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE GIRASSOL IRRIGADO COM ESGOTO  
DOMÉSTICO TRATADO

APROVADA EM: 31 de Julho de 2014

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Ênio Farias de França e Silva, D.Sc.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)

Examinadores:

\_\_\_\_\_

Anamaria de Sousa Duarte, Dr<sup>a</sup>.Sc.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)

\_\_\_\_\_

Gerônimo Ferreira da Silva, Dr.Sc.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)

\_\_\_\_\_

Prof. Hans Raj Gheyi, D.Sc.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA (UFRB)

\_\_\_\_\_

Prof. Manassés Mesquita da Silva, D.Sc

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)

## **Dedico**

*A meus pais **João Dantas de Araújo**  
e **Maria Gorete da Costa Dantas** (in  
memorian).*

*À minha esposa **Fernanda de Medeiros  
Fernandes Dantas**, à minha irmã **Jane  
Gabriela da Costa Dantas (Gabi)** (in  
memoriam) e a meu irmão **Gabriel da Costa  
Dantas**,*

*Ofereço com muito amor e carinho.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e saúde, que permitem que eu usufrua de todos os momentos.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade de realizar este curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Pernambuco – FACEPE, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa de número 562869/2010-7, que possibilitou a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Ênio Farias de França e Silva, pela amizade, orientação, confiança e atenção sempre disponível.

À Helianthus do Brasil LTDA, pelo fornecimento das sementes utilizadas no experimento.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelos conhecimentos transmitidos.

À banca examinadora, Dr<sup>a</sup>. Anamaria de Sousa Duarte, Prof. Dr. Hans Raj Gheyi, Prof. Manassés Mesquita da Silva e Dr. Gerônimo Ferreira da Silva, pelas contribuições.

À Estação de Agricultura Irrigada em Ibimirim, PE (EAII - UFRPE) que possibilitou minha estadia durante o desenvolvimento da pesquisa.

À meus pais João Dantas de Araújo e Maria Gorete da Costa Dantas (*in memoriam*), pela educação que me deram, alicerce para eu alcançar essa conquista.

À minha esposa Fernanda de Medeiros Fernandes Dantas que mesmo distante sempre me incentivou e acreditou no meu sucesso profissional.

Aos amigos Edivan, Agenor, Laerte e Michelangelo que me deram moradia quando cheguei a Recife.

Aos amigos conquistados durante o Curso de Pós-Graduação da UFRPE, em especial a Antônio Cardoso, Alexandre Santos, Andréa Raquel, Gian Carlo, Joel Medeiros, Mara Suyane, Marcos Félix, Mércia Cardoso, Miguel Guimarães, Renato Paiva, Raquele Lira, Vinicius Mendes, pelos momentos de estudo e convivência harmoniosa.

Aos amigos do grupo de pesquisa à Mara Suyane e Murilo Melo pelo apoio essencial na execução dos trabalhos em laboratório e dedicação ao projeto.

Aos amigos conquistados na república Dijson, Luis Coutrin, Guilherme Rolim, Joel Medeiros, Breno Lima, pelos momentos de descontração, conversas, e aconselhamentos.

A todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
2 HIPÓTESES.....	3
3 OBJETIVOS.....	4
3.1 Geral.....	4
3.2 Específico.....	4
<b>4 CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
4.1 A escassez e o reuso de água.....	5
4.2 Águas residuárias e os tratamentos de esgoto doméstico.....	6
4.3 Aspectos legais da utilização de águas residuárias na agricultura.....	9
4.4 Aspectos técnicos da utilização de efluentes domésticos na agricultura.....	12
4.4.1 Efeito no solo da irrigação com águas residuárias tratadas.....	12
4.4.1.1 Cálcio, magnésio e potássio.....	13
4.4.1.2 Nitrogênio e fósforo e acidez do solo.....	15
4.4.1.3 Condutividade Elétrica do Solo (CE) e Porcentagem de Sódio Trocável (PST) ...	17
4.4.1.4 Matéria Orgânica.....	19
4.4.1.5 A cultura do girassol e efeitos da utilização de águas residuárias nas plantas.....	20
4.5 Efeito da utilização de águas residuárias no sistema de irrigação.....	25
REFERÊNCIAS.....	31
<b>CAPÍTULO II: CRESCIMENTO E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO GIRASSOL IRRIGADO COM EFLUENTES DOMÉSTICOS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO.....</b>	<b>48</b>
RESUMO.....	49
ABSTRACT.....	50
INTRODUÇÃO.....	51
MATERIAL E MÉTODOS.....	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS.....	66
<b>CAPÍTULO III: ESTADO NUTRICIONAL DO GIRASSOL IRRIGADO COM</b>	

EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS NA REGIÃO SEMIÁRIDA.....	70
RESUMO.....	71
ABSTRACT.....	72
INTRODUÇÃO.....	73
MATERIAL E MÉTODOS.....	75
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
CONCLUSÕES.....	91
REFERÊNCIAS.....	92
<b>CAPITULO IV: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO COM GIRASSOL IRRIGADO COM EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS</b>	96
RESUMO.....	97
ABSTRACT.....	98
INTRODUÇÃO.....	99
MATERIAL E MÉTODOS.....	100
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	106
CONCLUSÕES.....	117
REFERÊNCIAS.....	118
<b>CAPÍTULO V: DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO UTILIZANDO EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO.....</b>	123
RESUMO.....	124
ABSTRACT.....	125
INTRODUÇÃO.....	126
MATERIAL E MÉTODOS.....	128
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	131
CONCLUSÕES.....	135
REFERÊNCIAS.....	136
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	139
<b>APÊNDICE.....</b>	138

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO I:** Revisão de Literatura

Tabela 1. Potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada .....28

### **CAPÍTULO II:** Crescimento e componentes de produção do girassol irrigado com efluentes domésticos no semiárido pernambucano

Tabela 1. Caracterização textural do solo. Ibimirim-PE, 2011.....54

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental. Ibimirim -PE, 2010.....54

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros físico-químicos das águas utilizadas na irrigação. Ibimirim-PE, 2011.....56

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis de crescimento, diâmetro de caule (DC), altura de plantas (AP) e índice de área foliar (IAF) da cultura do girassol irrigada com efluentes domésticos. Ibimirim-PE, 2011.....59

Tabela 5. Aplicação do Teste de Scott-Knott para o desdobramento do tempo em cada tipo de água utilizada na irrigação para as variáveis diâmetro de caule (DC), altura das plantas e índice de área foliar, da cultura do girassol H250. Ibimirim-PE, 2011.....60

Tabela 6. Teste de contraste para biomassa fresca por planta (BFP), biomassa seca por planta (BSP), massa de mil aquênios (M1000), diâmetro interno do capítulo (DIC), produção de aquênios por planta (PAP), produtividade (PROD), teor de óleo (TO) e produtividade de óleo (PO) da cultura do girassol cv. Hélio 250 irrigado com diferentes tipos de águas.....64

Tabela 1. Teste de contraste para biomassa fresca por planta (BFP), biomassa seca por planta (BSP), massa de mil aquênios (M1000), diâmetro interno do capítulo (DIC), produção de aquênios por planta (PAP), produtividade (PROD), teor de óleo (TO) e produtividade de óleo (PO) da cultura do girassol cv. Hélio 250 irrigado com diferentes tipos de águas.....59

### **CAPÍTULO III:** Estado nutricional do girassol irrigado com efluentes domésticos tratados na região semiárida.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental. Ibimirim -PE, 2010.....76

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros físico-químicos das águas utilizadas na irrigação. Ibimirim-PE, 2011.....78

Tabela 3. Fases fenológicas, duração e coeficientes de cultivo (Kc) do girassol.....79

Tabela 4. Aporte de nutrientes aplicados ao solo via irrigação por gotejamento nos tratamentos. Ibimirim-PE, 2011.....80

Tabela 5. Teor de nutrientes e partição de assimilados no girassol. Ibimirim 2011.....	82
Tabela 6. Resumo da análise de variância para teores de nutrientes na parte aérea do girassol H250 irrigado com efluentes domésticos. Ibimirim-PE, 2011.....	82
Tabela 7. Teste de contraste para teor de nutrientes na parte aérea do girassol cv H250 irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.....	83
Tabela 8. Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes no capítulo do girassol cv. H250 irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.....	85
Tabela 9. Teste de contraste para teor de nutrientes no capítulo do girassol cv. H250 irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.....	85
Tabela 10. Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes nos aquênios cv H250 irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.....	86
Tabela 11. Teste de contraste para teor de nutrientes nos aquênios do girassol cv Hélio 250 irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.....	87
Tabela 12. Resumo da análise de variância para acúmulo de nutrientes extraídos pela cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.....	89
Tabela 13. Teste de médias para total de nutrientes acumulados na cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.....	89
Tabela 14. Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Índice de Balanço nutricional (IBN) para parcelas irrigadas com água de abastecimento (A4) .....	91
<b>CAPÍTULO IV: Atributos químicos do solo cultivado com girassol irrigado com efluentes domésticos tratados</b>	
Tabela 1. Composição textural do solo. Ibimirim-PE, 2011.....	101
Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental. Ibimirim -PE, 2010.....	101
Tabela 3. Valores médios dos parâmetros físico-químicos das águas utilizadas na irrigação. Ibimirim-PE, 2011.....	104
Tabela 4. Nutrientes aplicados ao solo cultivado com girassol, via água de irrigação.....	104
Tabela 5. Resumo da análise de variância para teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), e porcentagem de sódio trocável (PST) no solo cultivado com girassol aos 77 e 98 DAS. Ibimirim-PE, 2011.....	107
Tabela 6. Teste de comparação de médias do fator tipos de água nas variáveis, magnésio (Mg), sódio (Na) e porcentagem de sódio trocável (PST) aos 77 DAS e Na e PST no solo aos 98 DAS. Ibimirim-PE, 2011.....	108

Tabela 7. Teor de potássio (K) e sódio (Na) no solo, para cada tipo de água e lâminas de irrigação aos 77 DAS e 98 DAS.....	110
Tabela 8. Teste de comparação de médias para o fator profundidade do solo aos 77 DAS nas variáveis Ca, K, PST.....	111
Tabela 9. Resumo da análise de variância para condutividade elétrica do extrato de saturação (CE <sub>es</sub> ), potencial de hidrogênio (pH <sub>es</sub> ), razão de adsorção de sódio (RAS), fósforo disponível (P) e carbono orgânico total (COT) do solo cultivado com girassol aos 77 e 98 DAS.....	112
Tabela 10. Teste de comparação de média dos tipos de água e camadas de solo na condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), razão de adsorção de sódio (RAS), fósforo disponível (P) e carbono orgânico total (COT) do solo aos 77 DAS e 98 DAS.....	113
Tabela 11. Resumo da análise de variância para elementos solúveis: cálcio (Ca <sup>2+</sup> ), magnésio (Mg <sup>2+</sup> ), sódio (Na <sup>+</sup> ) e potássio (K <sup>+</sup> ), do solo irrigado com efluentes domésticos, aos 77 e 98 DAS.....	116
Tabela 12. Teste de comparação de média para os fatores tipos de água e camadas de solo nos elementos cálcio (Ca <sup>2+</sup> ), magnésio (Mg <sup>2+</sup> ), sódio (Na <sup>+</sup> ) e potássio (K <sup>+</sup> ) obtidos do extrato de saturação do solo, cultivado com girassol aos 77 e 98 DAS. Ibimirim-PE, 2011.....	116
<b>CAPÍTULO V: Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente doméstico tratado</b>	
Tabela 1. Análise de variância para vazão de emissores em sistema de irrigação utilizando diferentes tipos de águas (A <sub>1</sub> – UASB, A <sub>2</sub> - DD + FA; A <sub>3</sub> - FA e A <sub>4</sub> - água de abastecimento) e lâminas de irrigação ao longo do tempo (DAS). Ibimirim, 2011.....	132
Tabela 2. Média de vazão de gotejadores por tratamento de efluentes e épocas de avaliação. Ibimirim-PE, 2011.....	133
Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para vazão (Q) em L h <sup>-1</sup> em função do tempo (T) em DAS, com os respectivos coeficientes de determinação para tipos de água e lâminas de irrigação bem como, estimativa do tempo que ocorreu as maiores vazões.....	134

## LISTA DE FIGURAS

**CAPÍTULO II:** Crescimento e componentes de produção do girassol irrigado com efluentes domésticos no semiárido pernambucano

Figura 1. Dados diários de temperatura média e precipitação pluviométrica registrada durante a condução do experimento.....53

Figura 2. Instalações de coleta e tratamento de esgoto doméstico e croqui da área experimental. Ibimirim-PE, 2011.....55

Figura 3. Desdobramento para tipos de água utilizada na irrigação ao longo do tempo para as variáveis, diâmetro do caule (A), altura de plantas (B), índice de área folia (C) da cultura do girassol irrigado com efluentes domésticos. Ibimirim-PE, 2011.....61

**CAPÍTULO III:** Estado nutricional do girassol irrigado com efluentes domésticos tratados na região semiárida

Figura 1. Localização de Ibimirim em Pernambuco .....76

Figura 2. Esquema de funcionamento do reator UASB-híbrido. Fonte: Silva (2010) .....77

Figura 3. Esquema de instalação e funcionamento decanto digestor associado a um filtro anaeróbio. Fonte: Silva (2010) .....77

Figura 4. Teor de P (A) e S (B) na parte aérea do girassol irrigado com diferentes tipos de água e lâminas de irrigação, Ibimirim- PE, 2011. Classes de médias: letras minúsculas compara-se tipos de águas dentro das lâminas; letras maiúsculas compara-se lâminas em cada tipo de água) .....84

Figura 5. Teor médio de K (A) e S (B) nos aquênios de girassol, em função de tipos de águas e lâminas de irrigação, Ibimirim-PE, 2011. Classes de médias (letras minúsculas compara-se entre os tipos de águas dentro das lâminas; letras maiúsculas compara-se as lâminas em cada tipo de água) .....87

Figura 6. Média dos nutrientes extraídos pelo girassol cv. H250, nas diferentes partes da planta e total acumulado, Ibimirim-PE, 2011.....88

Figura 7. Desdobramento da interação dos fatores tipos de água e lâminas de irrigação para acúmulo de S extraído pela cultura do girassol, separados por classes de médias (letras minúsculas compara-se entre os tipos de águas dentro das lâminas; letras maiúsculas compara-se as lâminas em cada tipo de água) .....90

**CAPÍTULO IV:** Atributos químicos do solo cultivado com girassol irrigado com efluentes domésticos

Figura 1. Dados de precipitação pluviométrica, evapotranspiração de referência e lâminas d irrigação aplicadas durante a condução do experimento .....103

Figura 2. Teor médio de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) potássio (K), fósforo e carbono orgânico total (COT), nas camadas de 0 - 0,2 e 0,2 - 0,4 m .....106

Figura 3. Teor médio de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) potássio (K) e acidez potencial, aos 77 DAS na camada de 0 - 0,2 m (A), 98 DAS na camada de 0 - 0,2 m (B), aos 77 DAS na camada de 0,2 - 0,4 m (C), e aos 98 DAS na camada de 0,2 - 0,4 m.....109

**CAPÍTULO V:** Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente doméstico

Figura 1. Instalações de coleta e tratamento de esgoto doméstico e croqui da área experimental. Ibimirim-PE, 2011.....128

Figura 2. Valores do CUC (a, b), CUD (c, d), e CUE (e, f) obtidos ao longo do tempo (DAS), de sistema de irrigação por gotejamento abastecido com efluentes doméstico tratado por UASB, DD + FA, FA, e água de abastecimento, bem como para duas lâminas de irrigação  $L_1 = ET_c$ , e  $L_2 = 1,2ET_c$ . Ibimirim- PE, 2011 .....131

## APÊNDICES

Figura 1A. Capina pré-plantio (A), vista da área com sistema de irrigação (B), semeio do girassol (C, D) .....	138
Figura 2A. Vista da área experimental ao longo do ciclo: aos 12 DAS (A), 19 DAS (B), 29 DAS (C), 52 DAS (D), 65 DAS (E) aos 96 DAS (F) .....	139
Figura 3A. Monitoramento do crescimento da cultura, folhas (A), altura das plantas (B); colheita (C); material picotado (D); determinação da matéria fresca total (E); pré-secagem dos capítulos (F) .....	140
Figura 4A. Avaliação do sistema de irrigação (A); medição da faixa molhada, a 0,30 m de profundidade para determinação do KL (B); coleta de solo para avaliação nos atributos químicos do solo (C e D) .....	141

## RESUMO

O reuso de água é uma prática utilizada de forma a aumentar a eficiência de usos dos recursos hídricos constituindo numa alternativa para regiões que apresentam escassez. Entretanto, as águas residuárias domésticas apresentam em sua composição além de nutrientes, grande quantidade de elementos que podem ocasionar toxidez nas plantas, alterações nas características do solo, como também pode alterar as características de eficiência de aplicação do sistema de irrigação. Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar a utilização de águas residuárias domésticas tratadas por diferentes métodos (A<sub>1</sub> - residuária tratada por reator anaeróbio UASB, A<sub>2</sub> - residuária tratada com decanto digestor e filtragem anaeróbia, A<sub>3</sub> - residuária tratada por filtragem anaeróbia) em relação à testemunha (A<sub>4</sub> - água de abastecimento), utilizando duas lâminas de irrigação (L<sub>1</sub> - igual à evapotranspiração da cultura (ETc) e L<sub>2</sub> - 1,2 ETc), nas características de crescimento, produção e nutricionais da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.), as alterações nos atributos químicos do solo, como também as alterações no desempenho do sistema de irrigação utilizado. Concluiu-se que a irrigação com efluente doméstico por qualquer dos três métodos de tratamento estudados proporcionam melhoria significativa nas variáveis de crescimento e de produção da cultura do girassol, quando comparado à irrigação com a água de abastecimento (testemunha); a cultura do girassol não apresentou sintomas de toxidez devido à irrigação com efluentes domésticos, tendo, os efluentes domésticos proporcionado melhor balanço nutricional; houve maior extração de nutrientes ao se irrigar a cultura com teores as águas do tipo A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>; os teores de P disponível, Mg e K total extraído, foram incrementados com a utilização dos efluentes domésticos tratados; os efluentes tratados pelo reator UASB, proporcionaram menores valores de Na total, de PST, de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> solúveis e de salinidade do solo (CE<sub>es</sub>); o uso das águas residuárias domésticas tratadas proporcionou uma uniformidade de distribuição de água classificada entre boa e excelente durante um ciclo de cultivo de girassol com aproximadamente 100 dias; houve redução da vazão dos gotejadores ao longo do tempo, entretanto, esta aconteceu em todos os tratamentos; Faz-se necessário ao se utilizar efluentes domésticos tratados na irrigação, realizar avaliações rotineiras do sistema de irrigação, como ferramenta de ajuste do tempo de operação.

**Palavras-chave:** *Helianthus annuus* L., reuso de água, irrigação, tratamentos de esgotos domésticos.

## ABSTRACT

The reuse of water is a practice that can be used to increase the efficiency of water resources as an alternative in regions with water scarcity. However, domestic wastewater composition has water besides nutrients, lot elements that might cause toxic effects in plants, deleterious effects on soil and may change the characteristics of application efficiency of the irrigation system. Therefore, the aim of this research was to evaluate the use of domestic wastewater treated by different methods ( $A_1$  - wastewater treated by UASB anaerobic digester,  $A_2$  - wastewater treated with by digester decant and anaerobic filtering,  $A_3$  - wastewater treated only by anaerobic filter) in compared to the control ( $A_4$  - water supply), with two irrigation levels ( $L_1$  - equal to the crop evapotranspiration (ETc) and  $L_2$  - 1.2 ETc), growth characteristics, production and nutrition of sunflower (*Helianthus annuus* L.), changes in soil chemical properties, as well as changes in the performance of the irrigation system used. It was concluded that irrigation with wastewater by any of the three studied methods provide significant improvement in growth variables and production of sunflower when compared with the irrigation water supply; the sunflower crop had no symptoms of nutritional toxicity due to irrigation with domestic wastewater, by contrast, domestic effluents provided better nutritional balance; it was observed a trend of extract greater amount of nutrients in irrigation water using the type  $A_2$  and  $A_3$ ; allowed the use of effluent increases in levels of P,  $Mg^{2+}$  and  $K^+$  exchangeable soil; among the tested types of sewage treatment, the treated effluent by the use of UASB reactor provided smaller amounts of exchangeable  $Na^+$ , PDT, as well as lower concentrations of  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  and soluble soil salinity (ECs); with the use of treated domestic wastewater for irrigation was obtained uniformity of water distribution classified between good and great for a crop cycle of sunflower with approximately 100 days; even with a reduction in the flow of drippers over time, this happened in a uniform manner in all treatments, thus reviews the irrigation system should be used routinely in the management of irrigation as a tool to adjust the operating time.

**Keywords:** *Helianthus annuus* L., water reuse, irrigation, wastewater treatment.

## **CAPÍTULO I**

---

### **INTRODUÇÃO GERAL / REVISÃO DE LITERATURA**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, os conceitos de sustentabilidade agrícola têm sido abordados de maneira rotineira, visto que incluem a necessidade de aumentar as produções com uso mais eficiente dos recursos naturais limitados e não renováveis.

Com o crescimento das cidades e da população, aumenta também a demanda por água potável, e conseqüentemente o aumento dos resíduos gerados, dentre eles, os esgotos domésticos que, geralmente são lançados em corpos de águas superficiais (rios, lagos) ocasionando problemas ambientais. Portanto, as ações antrópicas interferem nos componentes do ciclo hidrológico, diminuindo a recarga dos aquíferos como também poluindo os recursos disponíveis, tornando este recurso cada vez mais escasso. Dessa forma, surge a necessidade de gerenciar os recursos naturais, dentre eles, a água, de forma a atender a demanda crescente por alimentos e água.

Estudos apontam que a agricultura utiliza em média 70% dos recursos hídricos disponíveis, seguido pela indústria e demais setores. Entretanto, esta atividade pode ser suprida por águas de qualidade inferior às requeridas para o abastecimento humano e pela indústria. Portanto, estimular o setor agrícola à utilização de águas de baixa qualidade é uma das alternativas para aumentar a disponibilidade de água boa para a população, setor industrial e geração de energia. Uma das opções é a utilização de efluentes domésticos tratados, principalmente, quando a cultura a ser cultivada não for de consumo direto, se constituindo uma alternativa para os agricultores localizados especificamente nas áreas circunvizinhas das cidades, principalmente, em regiões áridas e semiáridas (SOUSA et al., 2003).

A utilização de efluente doméstico na agricultura é uma prática muito antiga, há relatos de uso desta técnica há mais de 4.000 anos na Grécia. Na Europa, a partir da segunda metade do século XIX essa técnica se aprimorou objetivando diminuir a poluição das águas e melhorar a saúde pública (PARANYCHIANAKIS et al., 2006).

Nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, devido às condições climáticas, a baixa disponibilidade de água é um fator que dificulta o desenvolvimento das atividades antrópicas e a fixação do homem na região, com fortes impactos econômicos e sociais, além de constituir-se em um obstáculo ao desenvolvimento local. Em países como Israel, onde a disponibilidade de água doce é limitada, mais de um terço da água de irrigação provém do aproveitamento de águas residuárias (CENTRAL BUREAU OF STATISTICS, 2011).

Portanto, o reuso de água surge como uma oportunidade de reduzir a descarga de efluentes nos corpos receptores, diminuir a poluição ambiental, possibilitando a reciclagem dos nutrientes na agricultura, aumentando a oferta de água de boa qualidade, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos e ao mesmo tempo preservando o meio ambiente.

Mesmo com a escassez dos recursos hídricos nessa região, a prática do reuso de efluentes para a produção agrícola não tem sido utilizada de forma rotineira, isso se deve em parte, à rejeição da população relacionada à aquisição dos produtos oriundos desta técnica, bem como da falta de informações sobre esta técnica, por parte da população consumidora. Portanto, uma maneira de incentivar o processo de conscientização é com a utilização de efluentes na irrigação de culturas oleaginosas visando a produção de biocombustíveis.

A produção de biodiesel, dentro das áreas de interesse estratégico para o país apresenta carência de matéria prima e nesse contexto, o cultivo de oleaginosas se destaca como uma alternativa para a região semiárida, de forma que a irrigação com efluente doméstico poderá assegurar a sustentabilidade da atividade, propiciando conservação ambiental. A publicação da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, determinou a mistura obrigatória de 2% de biodiesel no diesel convencional a partir de 2008, e 5% a partir de 2013, garantindo dessa forma, o escoamento da produção para a indústria de biocombustível (CORRÊA et al., 2008).

A cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) apresenta algumas características agrícolas importantes, como maior resistência a seca, ao frio e ao calor e se adapta às diferentes condições de solos, podendo ser cultivada durante todo o ano, desde que haja disponibilidade hídrica. Conforme Lopes et al. (2009), o girassol está inserido entre as espécies vegetais de maior potencial para a produção de energia renovável no Brasil. A produtividade desta cultura é variável em função da localidade, época de plantio, cultivar e manejo utilizado. Oliveira et al. (2010), estudando 13 genótipos de girassol em diferentes locais na região Nordeste do Brasil, observaram que a produtividade variou de 888 a 3.425 kg ha<sup>-1</sup>.

Mesmo com todos os benefícios evidenciados, a utilização de águas residuárias requer práticas adequadas de tratamento e manejo pois o uso indiscriminado dessas águas podem ocasionar problemas sérios à saúde dos consumidores, dos agricultores, como também às comunidades locais, e aos equipamentos utilizados na irrigação (CARR et al., 2004).

Diante do exposto, utilizou-se a cultura do girassol irrigada com efluentes domésticos tratados sob condições de manejo agrícola para produção de óleo, avaliando os aspectos relativos à nutrição, desenvolvimento e produção da cultura, efeito nas propriedades químicas do solo, como também no sistema de irrigação.

## **2 HIPÓTESES**

Este trabalho foi desenvolvido considerando nas seguintes hipóteses:

Há diferença nas variáveis de crescimento e de produção da cultura do girassol, decorrente da aplicação de efluentes domésticos tratados;

O aporte de nutrientes presentes no efluente doméstico tratado é suficiente para atender as exigências nutricionais da cultura do girassol;

Há diferença nos teores de nutrientes no solo cultivado com girassol, devido à utilização de efluentes doméstico tratados por diferentes processos;

Há diferença no crescimento e produtividade do girassol cultivado em condições edafoclimáticas do semiárido pernambucano, devido à aplicação de uma lâmina de lixiviação de 20% em relação à evapotranspiração da cultura;

Há diferença em se aplicar uma lâmina de lixiviação de 20% superior à evapotranspiração da cultura, nos teores de nutrientes do solo cultivado com girassol, nas condições edafoclimáticas do semiárido pernambucano;

Há diferença no desempenho do sistema de irrigação por gotejamento devido à utilização de efluentes domésticos tratados;

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Geral**

Estudar a viabilidade técnica da utilização de águas residuárias domésticas tratadas na no desenvolvimento e produção de girassol, visando à racionalização do uso da água e a mitigação de impactos ocasionados pelo lançamento desses efluentes em cursos d'água.

#### **3.2 Específicos**

- i. Avaliar o crescimento e os componentes de produção da cultura do girassol cultivada em campo e irrigadas com diferentes tipos de águas, sob as condições edafoclimáticas da região do semiárido pernambucano;
- ii. Avaliar o efeito da irrigação com diferentes tipos de águas na nutrição mineral da cultura do girassol;
- iii. Avaliar o efeito da irrigação com diferentes tipos de águas nas características químicas do solo cultivado com girassol;
- iv. Avaliar o efeito da irrigação com diferentes tipos de águas no desempenho do sistema de irrigação por gotejamento.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 A escassez e o reuso de água

A água é um dos insumos de fundamental importância para a agricultura e matéria prima essencial para diversos processos industriais. Mesmo sendo um recurso renovável, encontra-se escassa em algumas regiões, esta situação tem se agravado devido ao processo de urbanização das cidades, expansão agrícola, industrialização e degradação do meio ambiente.

O Brasil é um dos países mais ricos em água doce do planeta, entretanto a distribuição hídrica não ocorre da mesma forma que a distribuição populacional, ocasionando com isso conflitos em áreas de grandes densidades demográficas e intensa concentração industrial. A maior dificuldade de abastecimento hídrico acontece na região semiárida do Nordeste brasileiro, onde a pluviometria média anual é inferior a 800 mm.

Estudos apontam que em 2025, cerca de 3 bilhões de pessoas estarão vivendo em países com escassez de recursos hídricos e com sérios problemas relacionados à produção dos próprios alimentos (CHRISTOFIDIS, 2002; ASANO et al., 2007; RIJSBERMAN, 2006). O setor primário constituído pela agricultura irrigada é reconhecido como a atividade que utiliza maior quantidade de água, em média 70% de todo o volume captado, e em muitos cenários de irrigação 75% da água é desperdiçada no bombeamento (CHRISTOFIDIS, 2001).

A obtenção de tecnologias apropriadas para a utilização das fontes de águas de qualidade inferior, tais como esgotos de origem doméstica, efluentes de sistemas de tratamento de água e industriais, água de drenagem agrícola e águas salobras para usos menos restritivos, colabora, com a melhoria da eficiência do uso e gestão da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (HESPANHOL, 2008). Desta forma, a substituição de águas de melhor qualidade por águas residuárias tratadas na agricultura, possibilita uma economia de água de boa qualidade, aumentando a disponibilidade destes recursos para fins mais nobres, como o abastecimento humano (ANDRADE et al., 2007).

O reuso planejado de águas residuárias domésticas na agricultura vem sendo apontado como uma medida para atenuar o problema da escassez hídrica no semiárido, sendo uma alternativa para os agricultores localizados especificamente nas áreas circunvizinhas às cidades (SOUSA et al., 2003). Diversas vantagens são obtidas com a utilização destes efluentes na agricultura, como a substituição dos adubos orgânicos e químicos, a minimização

da poluição hídrica dos mananciais, economia de água de melhor qualidade, diminuição dos gastos com adubação química (DEON et al., 2010; LEÓN & CAVALLINI, 1999), a redução do nível requerido de purificação do efluente e, conseqüentemente, dos custos de seu tratamento (HARUVY, 1997), além da possibilidade de melhoria das produtividades agrícolas, devido ao aporte de macro e micronutrientes importantes para as culturas.

No mundo existem diversas áreas agrícolas utilizando o reuso de águas domésticas (RUTKOWSKI et al., 2007). Estimativas indicam que há pelo menos 20 milhões de hectares cultivados com águas residuárias tratadas ou não, sendo os alimentos produzidos com essas águas consumidos por 10% da população mundial (HUSSAIN et al., 2002).

Conforme Feigin et al. (1991), dentre os países que praticam o reuso planejado, destaca-se Israel, que aplica 70% dos esgotos tratados na agricultura. A Índia aproveita aproximadamente 75% dos seus esgotos tratados e não tratados para irrigação. O reuso planejado direto ou indireto de águas também é realizado no Reino Unido, nos Estados Unidos, no Japão, na Alemanha, na Austrália e na África do Sul (SHUVAL et al., 1986; PENG et al., 1995). Na Província de Mendoza, Argentina, que está situada numa região com precipitação média anual de 200 mm. há um projeto integrado de 9.000 ha irrigados com efluentes de lagoas de estabilização (TORRES et al., 2003).

Mesmo com todos esses exemplos de utilização bem sucedida de efluentes domésticos na irrigação, esta técnica deve ser utilizada de forma criteriosa protegendo as propriedades do solo, a saúde pública e o meio ambiente (PESCOD, 1992).

#### **4.2 Águas residuárias e os tipos de tratamento de esgoto doméstico**

O termo esgoto é empregado para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso humano (BRAGA et al. 2002; PESSOA & JORDÃO, 1995), os quais podem originar resíduos líquidos concentrados ou diluídos em águas (METCALF & EDDY, 2003), que necessariamente devem ser coletados e processados (ou tratados) em sistemas de tratamento. Nesse âmbito, têm-se os esgotos domésticos que são aqueles gerados a partir das águas utilizadas para higienização pessoal e de alimentos, descarga sanitária, lavagens de roupas e utensílios, e demais atividades relacionadas (PESSOA & JORDÃO, 1995; NBR 9648/1986). A água de “qualidade inferior” pode ser definida como aquela que pode conter características com potencial causador de problemas quando utilizadas para diversos fins. As

águas residuárias municipais são de qualidade inferior, porque estão associadas a problemas na saúde humana.

A prática de descartar águas residuárias em sistemas aquáticos superficiais como rios lagos e represas tem sido a solução normalmente utilizada pelas comunidades em todo o mundo para o afastamento dos resíduos líquidos (CUTOLO, 2009). O escoamento superficial no solo é um dos métodos que também pode satisfazer a esta demanda, tendo demonstrado boa eficiência na remoção dos diversos poluentes presentes nas águas residuárias, com custos de implantação, operação e manutenção mínimos, além de permitir que seu efluente seja empregado na irrigação de alguma cultura agrícola (TONETTI et al., 2009). Assim, a disposição de esgotos brutos no solo ou em corpos receptores naturais, como lagoas, rios, oceanos, é uma alternativa que foi e ainda é utilizada de forma intensa (CAMPOS, 1999).

São diversas as operações, os processos (químicos, físicos, biológicos ou combinações) e os sistemas de tratamento que possibilitam a purificação dos esgotos. Os processos biológicos aeróbios e anaeróbios são os mais frequentemente empregados. O tratamento biológico é um fenômeno que pode ocorrer naturalmente no solo ou na água, desde que predominem condições apropriadas de temperatura, umidade e microrganismos decompositores. Dessa forma, um sistema de tratamento de esgoto planejado procura aperfeiçoar os processos naturais, minimizando custos e aumentando a eficiência, respeitando as restrições regulamentadoras para a proteção do corpo receptor (CAMPOS, 1999).

Atualmente, os processos anaeróbios estão sendo bastante utilizados por apresentarem boa eficiência, rapidez e baixo custo (SINGH e PRERNA, 2009). Estes processos proporcionaram grande avanço no tratamento de diversos poluentes, principalmente por possibilitarem a retenção de biomassa dentro do sistema, aumentando o contato destes com o líquido a ser tratado. Com isso, além de minimizar a perda de biomassa no efluente, essa técnica permitiu que sejam aplicados tempos de detenção hidráulica reduzidos, como também possibilitou o uso de reatores com menores dimensões (FREIRE et al., 2008).

Os tratamentos de esgotos domésticos são usualmente classificados em quatro níveis: preliminar, primário, secundário e terciário. Tratamento preliminar, tem por finalidade remover as partículas sólidas grosseiras e materiais inertes em suspensão nos esgotos domésticos, por meio de processos físicos, sendo utilizados, grades, peneiras, caixas de areia para a remoção destes sólidos, e caixas de separação de materiais insolúveis como óleos e graxas (CHERNICHARO et al., 2006). O tratamento primário, destina-se à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Já o tratamento secundário, tem por

objetivo principalmente, a remoção da matéria orgânica remanescente, enquanto que o tratamento terciário, tem como finalidade remover poluentes específicos, como complementar a remoção de poluentes não retirados pelo tratamento secundário (von SPERLING, 2005).

A definição do nível do tratamento de esgotos de uma determinada estação de tratamento de esgotos (ETE), está associado ao maior nível de tratamento utilizado na ETE. Dessa forma, se uma ETE é composta pelos tratamentos: preliminar, primário e secundário, essa ETE é classificada em nível secundário, se a ETE contém algum tipo de tratamento de nível terciário, essa ETE será classificada como de nível terciário (von SPERLING, 2005).

A Organização Mundial da Saúde assegura que o tratamento primário de esgotos domésticos já é suficiente para torná-los adequados à irrigação de culturas de consumo indireto. No entanto, recomendam-se tratamentos secundário e terciário quando estas águas forem utilizadas na irrigação das culturas para consumo direto (SHUVAL et al., 1997; METCALF e EDDY, 2003).

No Brasil, os principais reatores que vêm sendo utilizados em maior escala são lagoas anaeróbias, decanto-digestores, filtros anaeróbios, reatores anaeróbios de manto de lodo. Esses reatores podem apresentar-se individualmente ou em combinação para atender às diversas situações de arranjos das unidades de ETEs (CAMPOS, 1999).

Os reatores do tipo upflow anaerobic sludge blanket, mais conhecidos como UASB estão sendo amplamente estudados em todo mundo (ALVAREZ et al., 2008). Este reator foi desenvolvido na Holanda, no final da década de 1970 e apresenta semelhança com o filtro anaeróbio ascendente, onde a diferença básica entre os dois é que o UASB não apresenta qualquer material de enchimento para servir de suporte para a biomassa. A imobilização dos microrganismos acontece por meio da auto-adesão, formando grânulos densos em camadas de lodo a partir do fundo do reator (KATO et al., 1999).

A popularização deste reator se deve à eficiência e velocidade para tratamento de efluentes, devido à sua configuração geométrica que permite o acúmulo de uma grande quantidade de biomassa ativa proporcionando elevado tempo de retenção celular e redução do tempo de detenção hidráulica. Outro fator importante, que proporciona melhoria da eficácia do tratamento com este reator está relacionado à adequada agitação e mistura hidráulica, decorrente do contato biomassa-esgoto promovido pelo fluxo hidráulico ascendente e gases gerados das reações de processamento da matéria orgânica, associado ao baixo custo de construção (CAMPOS, 1999).

Barbosa et al. (2009), estudaram a eficiência dos reatores UASB associado a filtração com colunas de solo de diferentes texturas (arenosa e argilosa), na remoção do nitrogênio total concluíram que não houve diferença quanto ao tipo de solo e que, a associação do UASB com o filtro preenchido com solo removeu praticamente toda a matéria orgânica e cerca de 85% do nitrogênio remanescente das águas residuárias.

Os decanto digestores, também conhecidos por tanques sépticos, são utilizados com o objetivo de reter, por decantação, os sólidos contidos nos esgotos, propiciando a decomposição dos sólidos orgânicos decantados no seu interior por meio da digestão anaeróbia. Este reator apresenta construção e operação simples e dependendo da característica requerida do efluente tratado, pode ser associados a outro tratamento anaeróbio a fim de melhorar a remoção da matéria orgânica dissolvida (ANDRADE NETO et al., 1999).

Os decanto digestores associados a filtros digestores constituem um processo de tratamento de esgotos bastante utilizado, devido à facilidade de partida, operação e manutenção, não perdendo a eficiência a curto prazo (ANDRADE NETO et al., 1999).

Os filtros anaeróbios consistem basicamente em um tanque contendo leito de pedras ou outro material de enchimento, e podem ser de sentido ascendente ou descendente. Na superfície de cada peça do material de enchimento ocorre a fixação e o desenvolvimento de microorganismos, formando o biofilme. Estes microorganismos agrupados formam flocos ou grânulos nos interstícios do material de suporte do biofilme, permitindo que os microorganismos retidos no reator processem a bioconversão da matéria orgânica nos esgotos (KATO et al., 1999).

#### **4.3 Aspectos legais da utilização de águas residuárias na agricultura**

As ações de planejamento e ordenamento territorial requerem legislação específica que as regulamente, uma vez que sem normas claras é impossível estabelecer uma ordem.

O Código das Águas, decreto 24.643 de 10 de julho de 1934 é considerado o marco legal do gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil, pois foi o primeiro instrumento legal a abordar o uso da água, porém a considera como um recurso inesgotável e portanto, passível de utilização abundante. O Código definiu os vários tipos de água do Território Nacional, os critérios para seu aproveitamento, os requisitos relacionados às autorizações para derivação, além de abordar a questão relacionada à contaminação dos corpos d'água (MIERZWA, 2002; CUNHA, 2008). O documento assegurava gratuidade de uso de qualquer rio ou nascente e

ainda previa propriedade particular de corpos d'água, valorizando o uso dos rios para produção de energia.

Com a criação da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), por meio da Lei de nº 6.983 em 31 de agosto de 1981, novos rumos foram dados à Legislação Ambiental Brasileira, ao adotarem princípios como: racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar; planejamento e fiscalização do uso dos recursos naturais; proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas; recuperação de áreas degradadas; controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras e educação ambiental. A PNMA estabelece como princípios norteadores das ações governamentais para o meio ambiente, incentivos ao estudo e pesquisa de tecnologias orientadas para o uso nacional e a proteção dos recursos ambientais, além da racionalização do uso da água (ANA, 2003).

No ano de 2005 foram instituídas Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 54, de 28 de novembro de 2005 que estabelece modalidade, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. As modalidades de reuso estão abordadas no Art. 3º abrangendo:

I. Reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II. Reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III. Reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV. Reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e

V. Reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) instituiu a Resolução de nº 357, em 17 de março de 2005. Que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Assim, as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes. Na regulamentação, as águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em usos menos exigentes, desde que este não prejudique a qualidade da água e que sejam atendidos outros requisitos pertinentes.

O Capítulo IV da Resolução 357 estabelece as condições e padrões de lançamento dos efluentes tratados nos corpos de água. Destacando-se quatro artigos sobre a disposição de efluentes em corpos hídricos:

Art. 24. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, padrões e exigências dispostas na Resolução e em outras normas aplicáveis.

Art. 25. É vedado o lançamento e a autorização de lançamento de efluentes em desacordo com as condições e padrões estabelecidos nesta Resolução.

O órgão ambiental competente poderá, excepcionalmente, autorizar o lançamento de efluente acima das condições e padrões desta Resolução, desde que: se comprove relevante interesse público, devidamente motivado; seja fixado um prazo máximo para o lançamento excepcional.

Art. 29. A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não poderá causar poluição ou contaminação das águas.

Art. 32. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados. Nas demais classes de água, o lançamento de efluentes deverá, simultaneamente: atender às condições e padrões de lançamento de efluentes; não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência; e atender a outras exigências aplicáveis. No corpo hídrico em processo de recuperação, o lançamento de efluentes observará as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final.

Portanto, a resolução do CONAMA nº 357/2005 veta qualquer lançamento de efluentes que possa poluir essa classe de água, no sentido de que visa a preservar o equilíbrio natural de comunidades aquáticas (embora permita o consumo humano), não permitindo o lançamento de efluentes, mesmo que tratados.

A Resolução do CONAMA de nº 430, de 13 de maio de 2011, que complementa e altera a Resolução nº 357 de 2005, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, nesta resolução destacam-se três artigos sobre a disposição final de efluentes tratados:

Art. 2. A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Art. 3. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedecem às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Art. 21. Para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverão ser obedecidas as seguintes condições e padrões específicos: valores de pH entre 5 e 9; temperatura inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura; materiais sedimentáveis de até 1 mL L<sup>-1</sup> em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes; demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias, 20 °C) no máximo de 120 mg L<sup>-1</sup>, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado, no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor; substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg L<sup>-1</sup>; e ausência de materiais flutuantes.

Mesmo ainda não tendo critérios estabelecidos, nem uma legislação específica para o reuso, pode-se dizer que, no Brasil, já existem ações que podem servir como base para a formulação de um aparato legal sobre o tema. As leis existentes sobre lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários e qualidade da água potável, bem como a divisão da água em classes podem balizar e fornecer subsídios para a elaboração de critérios, padrões e códigos de prática, adaptados às características nacionais (ALMEIDA, 2011).

#### **4.4 Aspectos técnicos da utilização de efluentes domésticos na agricultura**

##### **4.4.1 Efeito no solo da irrigação com águas residuárias tratadas**

O solo apresenta grande capacidade de decompor ou inativar materiais potencialmente prejudiciais ao ambiente, por meio de reações químicas e da multiplicidade de processos microbiológicos. Os íons e compostos podem ser inativados por reações de adsorção, complexação ou precipitação; já os microrganismos presentes no solo podem decompor os mais diversos materiais orgânicos, transformando-os em compostos menos tóxicos ou atóxicos (COSTA et al., 2004). Portanto, o solo exerce importante função importante na

disposição de águas residuárias, atuando como depósito e meio de tratamento dos diversos constituintes químicos.

Pinto et al. (2013) recomendam que a utilização dos efluentes deva ser previamente calculada de acordo com a capacidade de assimilação do sistema solo-planta, o que depende de fatores específicos de cada local, como propriedades físicas e químicas do solo, taxas de absorção da vegetação e concentração de nutrientes no efluente, controlando desta maneira os níveis de referência dos elementos tanto no solo como na planta.

Quando os efluentes são aplicados de forma controlada na superfície do solo, eles adquirem maior grau de tratamento por um sistema polifásico e dinâmico, caracterizado por apresentar grande superfície ativa e resultante de processos físicos, químicos e biológicos. Os compostos orgânicos se decompõem em CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e compostos inorgânicos. Os constituintes inorgânicos podem ser trocáveis, adsorvidos ou precipitados, seguindo reações químicas que os transformam em compostos de baixa solubilidade, ou podem ser absorvidos pelas plantas e, conseqüentemente, ser parcialmente removidos da solução do solo. Dessa forma, as plantas e o solo atuam como verdadeiros “filtros vivos”, absorvendo e retendo poluentes e organismos patogênicos presentes nos resíduos e efluentes (FEIGIN et al., 1991).

#### **4.4.1.1 Cálcio, magnésio e potássio**

O efluente é fonte de umidade para o desenvolvimento das culturas como também, de nutrientes essenciais. Pereira et al. (2011), estudando a composição iônica de águas residuárias tratadas, concluíram que tanto os macro (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn), como também os elementos considerados tóxicos (Al, Cd, Cr e Pb) apresentaram concentrações dentro dos limites aceitáveis de referência. Contudo, deve-se salientar a existência do risco em longo prazo, se não for realizado manejo agrícola eficiente, de poderem acarretar danos ao ambiente e às culturas. Trabalhos realizados em agrossistemas irrigados com efluentes de estações de tratamento (EET) relatam acréscimos de cátions trocáveis, de salinidade, da sodicidade e decréscimos nos teores de matéria orgânica (GLOAGUEN et al., 2007; HERPIN et al., 2007).

A utilização de águas residuárias na irrigação é cada vez maior, sendo uma solução técnica para minimizar a degradação do solo e restaurar o teor de nutrientes dos mesmos (KIZILOGLU et al., 2008). Segundo Fonseca et al. (2007), as principais alterações descritas nos solos fertirrigados com águas residuárias se resumem aos efeitos sobre carbono e

nitrogênio total, atividade microbiana e N-mineral, cálcio e magnésio trocáveis, salinidade, sodicidade e dispersão de argilas.

Damasceno et al. (2011), avaliando a fertirrigação com águas residuárias com diferentes proporções de N e K em flores de gérbera e seu efeito no solo (antes e depois), observaram efeito significativo na fertilidade média do solo, com aumento nos teores de Ca, Mg, Na, S e pH; e diminuição dos teores de Al e da acidez potencial, à medida que se elevou a proporção do efluente, e ainda observaram uma tendência de elevação dos teores de matéria orgânica.

Sandri et al. (2009) estudaram, durante dois ciclos de cultivo com a cultura da alface, as alterações químicas em solo irrigado com água residuárias, observaram no primeiro ciclo, elevação dos teores de manganês e cobre na camada de 0-0,10 m; e no segundo ciclo elevação de N total em ambas as camadas; e elevação de matéria orgânica, na camada mais superficial de 0-0,10 m. Quanto ao teores de K, estes autores observaram tendência de redução, sendo atribuído esta característica, ao efeito das precipitações pluviométricas mais intensas. Da mesma forma, Pereira et al. (2011), também observaram tendência de decréscimo do K trocável do solo em decorrência da elevação de sódio, o que refletiu nos teores desses elementos na análise foliar.

Meli et al. (2002) avaliaram as alterações químicas e microbiológicas no solo ocorridas em duas parcelas (2 ha) de citros cultivadas no mesmo solo e submetidas à mesma prática de irrigação durante 15 anos; sendo uma parcela irrigada com água de um rio e a outra com efluente de estação de tratamento. O efluente apresentava valor médio de nitrato igual  $0,26 \text{ mg L}^{-1}$  e nitrogênio amoniacal igual a  $13,51 \text{ mg L}^{-1}$ , concluíram que na área irrigada com efluentes domésticos, não houve efeito negativo relativos à biomassa microbiológica do solo e que esta se desenvolveu de forma análoga à parcela irrigada com água do rio; além disso, as plantas irrigadas com efluentes demonstraram maior capacidade de metabolizar os nutrientes disponíveis no solo.

Erthal et al. (2010) observaram que a utilização de águas residuárias, proporcionou com o decorrer do tempo aumento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  tendo atribuído esse aumento à intensa liberação dos respectivos íons à mineralização da matéria orgânica no solo. Baumgartner et al. (2007) trabalhando com águas residuárias da piscicultura e da suinocultura, constataram alterações químicas no solo decorrente da utilização desses efluentes domésticos, sendo estas alterações, proporcionais às características dos efluentes utilizados.

#### 4.4.1.2 Nitrogênio e fósforo e acidez do solo

Segundo Leal et al. (2010), a irrigação com efluentes de esgoto doméstico pode adicionar mais nitrogênio ao solo que a necessidade da cultura, e devido à rápida nitrificação em solos bem aerados e à fraca interação de N-nitrato com os colóides do solo, o N aplicado pode ser facilmente lixiviado para camadas abaixo da fona radicular.

Papadopoulos & Stylianou (1991) avaliaram o efeito da utilização de efluentes domésticos na cultura do girassol, em comparação com a testemunha irrigada com água de poço e suplementadas com N e P. Após três anos consecutivos, observaram efeito significativo no teor médio de N-(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no extrato de saturação do solo em todas as camadas avaliadas, sendo estas maiores com a utilização dos efluentes. Para os teores de fósforo observaram maiores acúmulos até 0,3 m de profundidade, sendo as concentrações em média duas vezes maiores quando se fez uso de águas residuárias. Quanto à condutividade elétrica do extrato de saturação, observaram maiores valores, utilizando água de poço.

Blum et al. (2013) avaliando a composição de nitrogênio da solução do solo irrigado com efluente doméstico, obtiveram a seguinte composição média: 92,3% na forma de nitrato, 7,5% como amônio e 0,2% como nitrito. Azevedo e Oliveira (2005), também encontraram valores de nitrato elevados nas parcelas irrigadas com águas residuárias; na profundidade de 0,40 m as concentrações variaram de 54 a 123,13 mg L<sup>-1</sup> enquanto que em áreas irrigadas com água potável a concentração ficou entre 23,50 e 67,67 mg L<sup>-1</sup>. Pinto et al. (2013) avaliando o teor de nitrogênio na solução do solo cultivado com alface irrigado com efluente doméstico, após três ciclos de cultivo, observaram que tanto nas parcelas irrigadas com água potável como com o efluente doméstico, os valores de nitrato foram superiores aos recomendados pela resolução do 357/2005 que determina 20 mg L<sup>-1</sup>.

Blum et al. (2013) testaram, por dois anos, a utilização de efluente doméstico e lâminas de 1,0 e 1,5 vezes a necessidade hídrica da cultura (NHC) da cana-de-açúcar em relação à testemunha (sem irrigação) no balanço de N e P no solo, observaram que a irrigação com efluente doméstico aumentou o N lixiviado. Entretanto, com a lâmina de irrigação igual à NHC a quantidade de N lixiviado não alterou a qualidade das águas subterrâneas.

Jnad et al. (2001), analisaram as alterações nas características químicas do solo devido à aplicação de efluente doméstico por gotejamento subterrâneo (0,08 m), em quatro localidades do Estado do Texas, e não observaram efeito para nitrogênio total, cálcio, magnésio, potássio,

carbono orgânico total e conteúdo de sais, no perfil do solo. Entretanto, verificaram elevação no teor de sódio no solo, quando o teor deste íon no efluente era elevado (305 mg L<sup>-1</sup>).

Nos esgotos domésticos, o fósforo aparece na forma de compostos orgânicos, como proteínas, e em compostos minerais, na forma de polifosfatos e ortofosfatos, originados de produtos sintetizados. Os polifosfatos representam, principalmente, os despejos com detergentes sintéticos (QUEVEDO & PAGANINI, 2011). O fósforo apresenta tendência de permanecer ao local de aplicação, devido à rápida precipitação e reação de adsorção no solo, sendo a matéria orgânica e as ligações com íons e óxidos (Fe e Al) os principais responsáveis pela retenção do mesmo. Porém quando a capacidade de adsorção do solo é alcançada, o mesmo se desloca para locais distantes do ponto de aplicação, podendo o movimento do íon ser influenciado pela umidade do solo (JNAD et al., 2001; COSTA et al., 2009).

Sandri et al. (2009), testando tipos de sistema de irrigação utilizando águas residuárias, na cultura da alface, por dois ciclos de cultivo, observaram, irrigando-se por aspersão, aumento nos teores de P do solo nas duas primeiras avaliações, aos 6 e 26 DAT, tanto nas camadas de 0-0,10 m, como nas de 0,1-0,2 m. Kouraa et al. (2002), testaram a utilização de esgoto bruto, água residuária tratada e água potável, no cultivo de batatinha e alface, e após um ano de cultivo não observaram alterações nos teores de P do solo.

Trabalhando com a cultura de cana-de açúcar, após um ciclo de nove meses, Gomes et al. (2009) observaram um aporte de 14 kg ha<sup>-1</sup> de P corresponde a 18,67 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P. Fonseca et al. (2007) evidenciaram baixo aporte de fósforo no solo, em razão da aplicação de águas residuárias de origem doméstica, afirmando que a indisponibilização deste elemento ao final do experimento pode estar associada à complexação pela matéria orgânica adicionada ao solo ou à formação de sais de baixa solubilidade.

A acidez do solo é reconhecidamente um dos principais fatores da baixa produtividade das culturas, solos ácidos tendem a ser pobres no suprimento de nutrientes, portanto, têm propensão a apresentarem baixas fertilidade, dificultando a obtenção de boas produtividades agrícolas (RAIJ et al., 2001; EPSTEIN & BLOOM 2006).

A calagem é prática para a correção da acidez em solos tropicais, a importância para as culturas deve-se aos efeitos sobre a neutralização da acidez do solo com aumento do pH, além da insolubilização de elementos tóxicos, como Al e Mn. Todavia, deve ser feita com cautela, pois reduz a disponibilidade dos micronutrientes como Cu, Fe e Zn, mesmo assim, esta técnica é considerada a prática mais eficiente para elevar os teores de Ca, Mg e saturação de bases no solo. Além de aumentar a disponibilidade de nutrientes na solução do solo, também

favorece a microflora e propriedades físicas do solo, aumentando o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes pelas plantas (PRADO & NATALE, 2005).

A literatura apresenta tanto relatos de aumento (JNAD et al., 2001, GLOAGUEN et al., 2007, PEREIRA et al., 2011), como de redução dos valores de pH do solo decorrente da aplicação de água residuárias na agricultura. O pH do solo pode aumentar, em razão da adição de cátions trocáveis e ânions presentes no efluente (STEWART et al., 1990), como também reduzir-se devido à rápida nitrificação da amônia e amônio, liberando íons de hidrogênio que permanecem adsorvidos aos colóides do solo (JNAD et al., 2001); a redução também pode ser justificada pela formação de ácidos orgânicos decorrente da degradação da matéria orgânica pelos microrganismos, produzindo dióxido de carbono (BOUWER & CHANEY, 1974).

Gloaguen et al. (2007) testaram o uso de efluentes domésticos na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) e milho (*Zea mays* L.) e após dois anos, observaram elevação do pH 0,5 - 1,0, e redução da acidez total por mais de 50%. Enquanto que Pereira et al. (2011) observaram diminuição da acidez do solo, o que é benéfico para a disponibilização de nutrientes na maioria das culturas em solos ácidos tropicais.

#### **4.4.1.3 Condutividade Elétrica do Solo (CE) e Porcentagem de Sódio Trocável (PST)**

A presença de alguns sais, principalmente o sódio ( $\text{Na}^+$ ), em excesso nos efluentes domésticos é, um fator limitante para a sua disposição no solo (WHO, 2004). Estudos realizados com aplicação de efluentes domésticos evidenciam atenção particular que deve ser dada ao  $\text{Na}^+$  devido aos incrementos que geralmente ocorrem nos teores trocáveis, solúveis, percentual de sódio trocável (PST) e também na condutividade elétrica da solução do solo (GLOAGUEN et al., 2007; FONSECA et al., 2007).

Segundo Ramalho Filho et al. (2005), teores relativamente altos de sódio em relação aos de cálcio e magnésio na água de irrigação, normalmente superiores a 3:1, ou mesmo baixos valores absolutos de cálcio no solo, tendem a prejudicar suas propriedades físico-químicas, desequilibrando-o estruturalmente e por fim, reduzindo sua permeabilidade.

Segundo Trani (2001), os valores de  $\text{Na}^+$  na água de irrigação devem estar entre 50 a 70  $\text{mg L}^{-1}$ ; assim, o uso dessa água não causará danos à cultura nem ao solo.

A relação entre o teor de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ , na água de irrigação é quantificado a partir da razão de adsorção de sódio (RAS). A tendência natural da utilização de águas com elevada

salinidade e RAS, é ocasionar um aumento na porcentagem de sódio trocável (PST), no solo. Com o aumento da PST aumenta o risco de deterioração das propriedades físicas, especificamente a dispersão das argilas com subsequente desestruturação do solo, a partir da quebra da estabilidade dos agregados, bloqueando os poros, e diminuindo a permeabilidade. Esse processo ocorrendo periodicamente, pode afetar a condutividade hidráulica do solo, prejudicando o crescimento das plantas, diminuindo a lixiviação, e acarretando na salinização e ou sodificação do mesmo (BOND, 1998).

Leal et al. (2009) verificaram aumento de 4 para 26% na PST do solo, com consequente aumento da porcentagem de argila dispersa em água, após 2.524 mm de irrigação com efluentes domésticos, durante 16 meses.

Friedman et al. (2007) testaram efluentes domésticos secundário (CE 2,3 dS m<sup>-1</sup>) em comparação com água potável (CE 0,7 dS m<sup>-1</sup>), no cultivo de girassol ornamental, observaram para a camada de 0-0,60 m, elevação nos teores de Cl<sup>-</sup>, B, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P e Na<sup>+</sup>, como também, da RAS, CE e diminuição para (Ca + Mg) e concluíram que a irrigação com água caracterizadas por RAS > 15 (mmol<sub>c</sub>L<sup>-1</sup>)<sup>0,5</sup> e CE < 4 dS m<sup>-1</sup>, podem induzir danos ao solo por ocasionar dispersão das argilas. Além dos problemas na propriedade física dos solos causados pelo excesso de sódio, a eficiência de utilização dos nutrientes dos efluentes domésticos também pode ser comprometida pela sodificação do solo, o que exige a adoção de práticas adicionais para mitigar esses efeitos.

Azevedo et al. (2013), avaliando os efeitos da utilização de diferentes diluições de efluentes primários nas propriedades químicas do solo, observaram incremento das concentrações de sódio no solo com valores de 24,8 mg dm<sup>-3</sup> (controle) a 111,3 mg dm<sup>-3</sup> (100% efluente), refletindo diretamente na salinidade do solo 0,3 a 0,9 dS m<sup>-1</sup>, à medida que a proporção de efluente aumentou.

Segundo Halliwell et al. (2001), uma alternativa para recuperar os danos causados pelo excesso de sódio e viabilizar a utilização de efluentes domésticos na agricultura é a aplicação de gesso. Blum et al. (2012) testaram a aplicação de fosfogesso no cultivo da cana-de-açúcar sob duas lâminas de irrigação 100 e 150% da necessidade hídrica da cultura com efluentes domésticos e observaram que os teores de Na nas folhas mantiveram-se faixa ideal.

Para Fonseca et al. (2005) e Tzanakakis et al. (2009), frequentemente há acúmulo excessivo de sódio nas folhas como consequência da irrigação com efluentes domésticos. Segundo Blum et al. (2012) a relação Ca:Mg:K:Na de 4:1,8:0,3:1, não causou desequilíbrio nutricional às plantas mesmo com elevada concentração de Na (3 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e PST de 8%,

encontrados na camada de 0-0,6 m. Pereira et al. (2011), estudando a aplicação de águas residuárias tratadas nas propriedades do solo, observaram elevação do  $\text{Na}^+$  trocável, sendo que, o excesso deste elemento foi lixiviado para fora do perfil do solo naturalmente após as precipitações pluviométrica de verão (>400 mm).

Sandri et al. (2009), trabalhando com gotejamento subterrâneo na profundidade de 0,08 m na cultura da alface, por dois ciclos de cultivo, observaram aumento dos teores de  $\text{Na}^+$  de 188% na camada de 0-0,10m e de 166% na profundidade de 0,1-0,2m.

Jnad et al. (2001), relatam que as principais alterações nos atributos físicos do solo decorrentes da aplicação de águas residuárias de origem doméstica tratadas, via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em áreas cultivadas com grama, foi o incremento na capacidade de retenção de água no solo, atribuído ao decréscimo de macroporos e ao acréscimo de microporos influenciando, assim, a condutividade hidráulica do solo saturado. A redução no tamanho de poros foi atribuída ao acúmulo de sólidos em suspensão, matéria orgânica e decréscimo da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no solo, em relação à de  $\text{Na}^+$ , que causou a dispersão das partículas de argila.

Medeiros et al. (2005) encontraram quantidade de sódio incorporado ao solo variando de 92,93 a 241,9  $\text{kg ha}^{-1}$ , quando aplicaram águas residuárias, e sugeriram como técnica de controle, a suspensão da aplicação da água residuária durante o período chuvoso, como forma de lixiviar o sódio para fora da zona radicular, evitando problemas de toxicidade às culturas.

#### **4.4.1.4 Matéria Orgânica**

A matéria orgânica do solo (MOS) é considerada um dos indicadores mais úteis de qualidade do solo, pois sua interação com diversos componentes do solo exerce efeito direto na retenção da umidade, formação de agregados, densidade do solo, infiltração, aeração e atividade microbiana, sob o ponto de vista químico, interage com o solo aumentando a capacidade de troca catiônica pela geração de cargas do material orgânico humificado, como também, a disponibilidade de nutrientes às plantas, além de afetar no pH, o poder tampão, sorção de pesticidas e outros agroquímicos.

Segundo Matos et al. (2003), os efluentes domésticos apresentam concentrações relativamente baixas de matéria orgânica, mas aplicações frequentes, podem incorporar quantidades apreciáveis de matéria orgânica ao solo, exercendo influência nas propriedades

físicas do mesmo, dentre as quais se destacam: a massa específica, a estrutura e estabilidade dos agregados, a aeração, a drenagem e a retenção de água.

Pesquisadores têm demonstrado os efeitos da utilização de efluentes domésticos no teor de matéria orgânica do solo, Azevedo et al. (2013) observaram que houve um incremento de matéria orgânica em todos os tratamentos onde foi utilizado efluente doméstico, principalmente na profundidade de 0,10 m. Damasceno et al. (2011), avaliando a fertirrigação com águas residuárias com diferentes proporções de N e K em flores de gerbera, e seu efeito no solo, observaram uma tendência de elevação do teor de matéria orgânica, entretanto não houve efeito significativo. Enquanto Dantas (2012), testando a utilização de águas de rio receptor de esgoto urbano no teor de matéria orgânica do solo cultivado com capim elefante, em três tempos de cultivo 20, 36 e 48 anos, observou que a utilização dessas águas proporcionou um aumento significativo na matéria orgânica na camada de (0-0,05m), sendo encontrado maior aporte orgânico nas áreas mais antigas (48 anos) justificando pelo tipo de manejo adotado, como plantio direto, não revolvimento do solo ao longo dos anos de cultivo, baixa incidência direta de temperatura.

Duarte et al. (2008), testando tipos de tratamentos para água residuárias (filtro de areia e discos; filtração lenta com injeção de CO<sub>2</sub>; radiação ultravioleta; comparando com água de abastecimento) observaram uma tendência de redução da matéria orgânica nos tratamentos com efluentes domésticos, atribuindo esse resultado à uma maior mineralização da matéria orgânica devido às altas taxas de nitrogênio orgânico, que foi disponibilizando para as plantas.

Gloaguen (2006), em um trabalho com as culturas de milho e girassol, irrigado com efluentes de estação de tratamento, após dois anos de irrigação com, atribuiu a diminuição nos teores de matéria orgânica no perfil do solo ao aumento da biomassa microbiana, da respiração, e da atividade enzimática durante a irrigação com efluentes.

#### **4.4.1.5 A cultura do girassol e efeitos da utilização de águas residuárias nas plantas**

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma cultura originária da América do Norte pertencente à família Asteraceae, que apresenta ciclo anual e se adapta às mais diversas condições edafoclimáticas, sendo cultivada em todos os continentes (FAGUNDES et al., 2007). Evidências arqueológicas indicam sobre a utilização do girassol pelos índios americanos a aproximadamente 3000 a.C. (LEITE et al., 2005). Em torno de 1830, a cultura foi introduzida na Rússia, onde foram descobertas as propriedades oleaginosas e iniciado a

produção de óleo em escala comercial (VIANA, 2008). Segundo Putt (1978), a evolução do cultivo do girassol como oleaginosa ocorreu no período de 1930 a 1939, quando o governo canadense reconheceu a dependência do país quanto à importação de óleo comestível e estimulou a pesquisa com outras potenciais culturas oleaginosas. No Brasil, a pesquisa com girassol foi iniciada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) do Estado de São Paulo em 1932 (UNGARO, 1982).

Segundo Lazzarotto et al. (2005), além da qualidade, o teor de óleo nas sementes é alto, proporcionando maior rendimento na produção de óleo por hectare se comparado com à cultura da soja. Como caracterização morfológica, a cultura do girassol é uma dicotiledônea com caule ereto, com altura variando entre 1,0 a 2,5 m e com cerca de 20 a 40 folhas por planta, a inflorescência é do tipo capítulo formada por inúmeras flores dispostas em círculos (EMBRAPA, 2011). Conforme Viana (2008), o fruto é do tipo aquênio, constituído de pericarpo (casca), mesocarpo e endocarpo (amêndoa). A duração do ciclo vegetativo pode variar de 90 a 130 dias, dependendo da cultivar, estação climática do semeio e condições ambientais da região; também apresenta as seguintes características: ciclo curto, tolerância à falta d'água, fácil adaptação às diferentes condições climáticas, alta qualidade de óleo, possibilidade de fabricação de farelo, silagem e torta para alimentação animal. Além disso, com a crescente demanda do setor industrial e comercial esta cultura está se tornando uma importante alternativa de renda aos produtores brasileiros (EMBRAPA, 2006).

Mundialmente cultivado visando à obtenção de óleo, devido à sua ótima qualidade nutricional e organoléptica, o óleo de girassol é importante para a prevenção de diferentes doenças cardiovasculares, como também é utilizado para controlar o nível de colesterol no sangue. Além disso, entre os óleos vegetais comestíveis, este óleo possui o maior teor percentual de ácidos graxos poli-insaturados, principalmente o ácido linoleico, essencial ao organismo humano (ACOSTA, 2009).

Segundo estimativas da FAO (2013) os maiores produtores de girassol no mundo são a Ucrânia, Rússia, Argentina, China e França, o Brasil por sua vez ocupa a 25<sup>a</sup> posição. O girassol é a quinta oleaginosa em área cultivada no mundo com 18 milhões de hectares e a quarta em produção de grãos, representa 13% de todo o óleo vegetal produzido (BALOTA et al., 2010). Segundo a CONAB (2014) a área estimada plantada com girassol no Brasil para a safra 2013-2014 é de 143,5 mil hectares concentrando-se no Centro-Sul do país. Estima-se um rendimento nacional médio de 1.721 kg ha<sup>-1</sup>, com o Estado de Mato Grosso do Sul apresentado maior produtividade 1.800 kg ha<sup>-1</sup> na região Nordeste do Brasil a produtividade

média na safra 2012-2013 foi de 422 kg ha<sup>-1</sup> e não há previsão de área plantada para o ano safra 2013-2014. No Estado do Pernambuco a cultura do girassol é pouco expressiva, porém nas regiões do agreste e sertão, surge como alternativa para a produção de biodiesel e geração de emprego e renda na agricultura familiar.

Além da produção de grãos, o girassol vem sendo largamente cultivado objetivando o fornecimento de matéria-prima para a indústria alimentícia, se destacando também como uma das oleaginosas potencialmente promissora, capaz de fomentar o programa Biodiesel no Brasil (LOPES et al., 2009). A criação da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que determina a mistura obrigatória de 2% de biodiesel no diesel convencional a partir de 2008 e de 5% a partir de 2013, desencadeou diversas ações de pesquisa sobre óleos vegetais como matéria-prima para a produção de biodiesel e havendo também uma perspectiva do setor produtivo que esse percentual aumente para 10% em 2014 e chegue a 20% em 2020. Em 2011, o Brasil se manteve entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo, com 2,7 bilhões de litros e US\$ 6,5 bilhões movimentados pelo setor. No entanto, a produção das 60 usinas instaladas no país equivale apenas a 40% da capacidade (BIODIESELBR, 2012). Dessa forma, o estímulo à produção de girassol é relevante, pois existe demanda no mercado interno e externo.

Com a crescente demanda energética em todo o mundo, vinculada ao crescimento populacional e à limitação do recurso água para a agricultura, novas técnicas de manejo precisam ser incorporadas ao sistema de produção agrícola, objetivando otimizar a utilização dos recursos naturais. Neste sentido, a utilização das águas residuárias no cultivo de oleaginosas para a produção de biocombustíveis, torna-se uma ferramenta a ser estudada.

O efluente como biofertilizante possui notadamente valoração econômica, estimativas indicam para uma população de 500 mil habitantes com consumo diário de 200 L hab<sup>-1</sup>, há uma geração de cerca de 85 mil m<sup>3</sup> de esgotos (85% de esgoto canalizado) o que corresponde 30 milhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Assim, considerando uma cultura agrícola cuja necessidade hídrica seja de 500 mm ano<sup>-1</sup>, o total de efluentes produzidos seria suficiente para irrigar 6.000 ha de lavoura. Admitindo-se que o efluente tenha respectivamente 50, 10 e 30 mg L<sup>-1</sup> de N, P e K, a irrigação aplicada ao solo equivaleria à adubação com 550, 640 e 300 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente (PESCOD, 1992).

Vários trabalhos têm sido realizados objetivando avaliar o desempenho das culturas irrigadas com efluentes, dentre eles, (MONTE & SOUSA, 1992), (VAZQUEZ-MONTIEL et al., 1996), (AZEVEDO & OLIVEIRA, 2005), (CAVALLET et al., 2006), (GLOAGUEN et

al., 2007), (NASCIMENTO et al., 2009), (SOUZA et al., 2010), (LOBO & GRASSI FILHO, 2007), (DUARTE et al., 2008), (NOBRE et al., 2010), (SANTOS JUNIOR et al., 2011), em todos eles, constatou-se aumento nos rendimentos das culturas variando entre 15 a 41% em relação ao da cultura irrigada com água de abastecimento, demonstrando mais uma vez, a viabilidade do uso de efluentes domésticos tratados na irrigação.

A alta concentração de sais nos efluentes domésticos pode provocar acúmulo de sais no solo, sendo necessário às plantas um ajustamento osmótico para manter o fluxo de água no sentido solo-folha, o que demanda energia que poderia ser utilizada em outros processos fisiológicos. O efeito da redução do componente osmótico é similar ao de um déficit hídrico consequente da depleção de água no solo para a maioria das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A salinidade é um dos principais fatores ambientais limitantes ao crescimento e produtividade das culturas, uma vez que as altas concentrações de sais no solo, além de reduzir o seu potencial hídrico, podem provocar efeitos tóxicos nas plantas, causando distúrbios funcionais e injúrias no metabolismo (LV et al., 2008; SILVA et al., 2009). Travassos et al. (2011) testando seis níveis de salinidade da água de irrigação (CEa variando de 0,5 - 5,0 dS m<sup>-1</sup>) na cultura do girassol em ambiente protegido, observaram que a massa e o número de total de aquênios decresceram em 11,39 e 9,64%, respectivamente, para o aumento unitário da CEa. Observaram também um aumento de 2,2 vezes na CEes decorrente da elevação dos níveis de salinidade da água.

Andrade et al. (2007) avaliaram uso de águas residuárias no desenvolvimento inicial da cultura do girassol e observaram que as plantas apresentaram maior número de folhas, maior diâmetro de caule, e, conseqüentemente, maior vigor. Nobre et al. (2010) testaram níveis de reposição da necessidade hídrica (NH) na cultura do girassol com águas residuárias (40, 60, 80, 100 e 120%) com CEa 1,12 dS m<sup>-1</sup> e observaram efeito linear crescente para as variáveis de crescimento altura de planta, fitomassa seca da parte aérea, diâmetro de capítulo fitomassa de aquênios, cujos maiores incrementos foram observados com reposição de 120%.

Na parte norte-oriental do deserto de Negev, em Israel, foi possível o cultivo do girassol e da celósia para flores de corte, irrigando-se com efluente secundário municipal. Através de instalações de sistemas de diluições apropriados para efluentes em água potável, foi possível melhorar a qualidade da água para agricultura (FRIEDMAN et al., 2007).

Em experimento com aplicação de efluentes na cultura do girassol, Bange et al. (1997) observaram maior eficiência do uso da radiação solar devido ao aumento do tamanho das folhas, bem como maiores concentrações de N no tecido vegetal, decorrente da elevada

disponibilidade de N no solo. Gadallah (1994) observou, aumento dos teores de cálcio, magnésio e cloreto no tecido foliar; aumento de zinco, manganês e sódio na raiz, e diminuição dos teores de potássio na raiz.

Trabalhos desenvolvidos por Souza et al. (2003) demonstraram alta exigência de boro pelas cultivares de girassol, e portanto alta eficiência para utilização deste elemento. A deficiência de B na cultura do girassol ocasiona redução no crescimento e na produção de massa seca, redução no tamanho do capítulo e na massa das sementes, com redução nos conteúdos de açúcares, óleo e amido (BONACIN et al., 2008).

O girassol é muito exigente em boro, quando cultivado em solos com baixo teor deste micronutriente pode apresentar perdas de 15 a 40% na produtividade (SOUZA et al., 2004). Para a correção da deficiência deste nutriente, é recomendado a aplicação de 1,0 a 2,0 kg ha<sup>-1</sup> (CASTRO, 2006). Entretanto, Santos Junior et al. (2011) avaliaram o uso de águas residuárias e adubações com boro na cultura do girassol e não observaram efeito significativo em nenhuma das variáveis analisadas, atribuindo tal efeito à possível existência de boro na água residuária ou no solo em quantidades suficientes às necessidades nutricionais da cultura.

Em culturas ornamentais, em várias espécies de plantas, têm se observado que com manejos eficientes é possível produzi-las comercialmente (MELLOUL et al., 2001, AZEVEDO & OLIVEIRA, 2005), (GLOAGUEN et al., 2007), (NASCIMENTO et al., 2011).

Bernstein et al. (2006) verificaram que o cultivo de rosas em solos deficientes em nutrientes irrigado com efluente doméstico não reduziu a qualidade nem o rendimento das rosas. Friedman et al. (2007) trabalhando com a cultura do girassol ornamental, observaram que as bordas das pétalas apresentaram coloração castanho durante o período de vida útil, e este dano foi mais grave em flores irrigadas com efluentes. É possível que os danos observados nas pétalas, possam ter sido induzidos pela mudança na acumulação de íons na flor sob irrigação com efluentes. Tamimi et al. (1999), também trabalhando com rosas, verificaram maior acúmulo de boro em tecidos florais.

Sandri et al. (2006), ao estudarem a composição química da alface, cv. Elisa, irrigada com águas residuárias tratadas em leitos cultivados com macrófitas e água de poço, utilizando sistema de irrigação por aspersão convencional, gotejamento subterrâneo e superficial, concluíram que as concentrações de sódio e na parte aérea da alface foram superiores àqueles considerados adequados e que as concentrações de Mg apresentaram valores menores. Os demais nutrientes apresentaram teores adequados, não sendo influenciados pelo tipo de água observaram também que, a utilização dos diferentes sistemas de irrigação para aplicação de

água residuárias tratadas com leitos cultivados com macrófitas não interferiram no teor de nutrientes na parte aérea.

Pereira et al. (2011), estudando a utilização de águas residuárias tratadas na cultura do citrus, observaram que essas águas podem proporcionar um aumento significativo nas concentrações de nitrogênio e enxofre e diminuição do teor de alumínio das folhas. Portanto não recomenda irrigações com lâminas superiores à ETc, pois podem causar desbalanço nutricional devido ao excesso de enxofre e deficiência de fósforo.

Carvalho et al. (2013), testando a aplicação de efluentes doméstico com diferentes diluições na cultura do girassol, objetivando avaliar a qualidade microbiológica da parte aérea, não observaram efeito significativo no número de microrganismo patogênicos e que todos os tratamentos apresentaram níveis dentro dos limites preconizados pela legislação. Emongor & Ramolemana (2004), também constataram ausência de coliformes fecais, *Salmonella* sp., *Shigella* sp. e *E. coli* em todas as amostras analisadas de berinjela e tomate irrigado com águas residuárias tratadas.

Segundo Hespanhol (2008), as concentrações típicas de nitrogênio (N) e fósforo (P) nos efluentes de sistemas convencionais de tratamento são de 15 mg L<sup>-1</sup> e 3 mg L<sup>-1</sup> respectivamente, dessa forma considerando a irrigação com uma lâmina média 2000 mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, implica na utilização de 300 kg. ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de N e 60 kg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de P, o que elimina a necessidade de aplicação de fertilizantes comerciais. Costa et al. (2009), estudaram o efeito da irrigação com águas residuárias tratadas por reator UASB no crescimento da cultura do milho e observaram para todas as épocas avaliadas que houve efeito significativo da irrigação com efluentes domésticos em relação à irrigação com água de abastecimento.

#### **4.5 Efeito da utilização de águas residuárias no sistema de irrigação**

As águas residuárias apresentam consideráveis concentrações de íons dissolvidos a respeito do sódio e do cloreto, assim, como grande variedade de organismos patogênicos tais como bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Portanto, quando se irriga com efluentes domésticos, além dos tratamentos adequados, é necessário escolher a melhor maneira de disposição no ambiente (SOUSA et al., 2003; HESPANHOL, 2009).

O tipo de tratamento das águas residuárias está diretamente relacionado às características dos efluentes, refletindo portanto, na qualidade do efluente, como também na sensibilidade do emissor ao entupimento (DEHGHANISANIJ et al., 2005), (CAPRA &

SCICOLONE, 2007). Os tratamentos adequados para partículas em suspensão, composição química e tipo da população microbiológica, são determinantes para a prevenção de entupimentos (NAKAYAMA et al., 2007). Sousa et al. (2006) relatam que a utilização de lagoas de estabilização estão entre os melhores métodos de tratamento de efluentes, principalmente quando estes serão utilizados na agricultura. Capra & Scicolone (2007) afirmam que o tratamento terciário com cloração seria uma forma eficiente para diminuir os problemas de obstrução causada por bactérias e algas, mas, devido aos elevados custos se tornaria inviável para se utilizar na agricultura.

Segundo Beer et al., (1994) e Denkhaus et al. (2007), o processo de formação da obstrução é ocasionado pela alta concentração de matéria orgânica e à presença de bactérias endógenas no efluente doméstico. As bactérias ligadas às superfícies liberam substâncias que formam exopolímeros, cujas propriedades físicas compreendem a estrutura do biofilme, enquanto que as propriedades fisiológicas são determinadas pelas células bacterianas. Os biofilmes exibem estruturas do tipo gel e conferem elasticidade física, o que os tornam resistentes às taxas de vazões e às forças relacionadas ao cisalhamento, portanto, a estrutura física fisiológica das colônias dos grupos de bactérias dentro do biofilme aumenta consideravelmente a sua resistência à desinfecção por produtos químicos tais como cloro e bactericidas. Por conseguinte, o controle do crescimento de biofilmes é bem mais difícil que em pequenas colônias bacterianas individuais.

Segundo Capra & Scicolone (2007), mesmo com a possibilidade de entupimento dos gotejadores por sólidos suspensos e matéria orgânica, a irrigação por gotejamento é o método mais eficaz para ser utilizado com esses tipos de águas, pois minimiza o contato com as plantas e com os operadores, não formam vapores d'água (deriva), apresenta facilidade de controlar a área molhada, e a lâmina de percolação profunda.

Outras vantagens são atribuídas a irrigação por gotejamento como economia de água e energia, e menor possibilidade de contaminação humana (MAROUELLI & SILVA, 2006), (ASANO et al., 2007); maior eficiência no uso da água, na adubação, e no controle fitossanitário, não interferência nas práticas culturais, adaptabilidade a diferentes tipos de solos e topografia, economia de mão de obra (BERNARDO et al., 2006); facilidade no funcionamento, manutenção da umidade próxima da capacidade de campo, menor desenvolvimento das ervas daninhas entre as linhas de plantio e facilidade de automação (DOORENBOS & KASSAM, 2000), (KELLER & BLIESNER, 1990)

No sistema por gotejamento, a sensibilidade ao entupimento varia com as características do gotejador e com a qualidade dos efluentes relacionada aos aspectos físicos, químicos e biológicos (CAPRA & SCICOLONE, 2004). Dosoretz et al. (2011) relacionaram quatro mecanismos relacionados ao entupimento dos dispositivos de irrigação: (1) as estreitas trajetória do fluxo é obstruída devido à presença de sólidos suspensos - físico, (2) a concentração elevada de alguns sais causam precipitação - química, (3) a adsorção hidrofóbica devido à interação de macromoléculas orgânicas solúveis ou coloidal, e (4) formação de biofilme e crescimento das algas - biológica. Portanto a formação do entupimento se deve à ação conjunta de mais de um desses mecanismos.

Uma consequência dos entupimentos de gotejadores consiste na aplicação não uniforme da lâmina de irrigação planejada (CARARO et al., 2006; FRIGO et al., 2006), acarretando variabilidade no estande de desenvolvimento da cultura, e conseqüentemente na produção. Dessa forma, avaliações de uniformidade de aplicação devem ser realizadas para obter bom desempenho em sistemas de irrigação por gotejamento (CUNHA et al., 2008).

Bucks et al. (1979) e Capra & Scicolone (1998) descreveram os principais parâmetros relacionados a qualidade da água, com risco de entupimento de gotejadores os quais estão apresentados na Tabela 1. As características de qualidade da água relatadas por Bucks et al. (1979) foram sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, potencial hidrogeniônico, manganês, ferro, sulfeto de hidrogênio e população bacteriana; Capra e Scicolone (1998) apresentaram as mesmas características, mais o cálcio e o magnésio. Ambos os estudos classificaram os riscos de entupimento dentro de três classes: menor, moderado e severo.

Inúmeros trabalhos foram e são realizados objetivando desenvolver técnicas para minimizar e solucionar as limitações decorrente da utilização de efluentes domésticos nos sistemas de irrigação (DEHGHANISANIJ et al., 2005); (BATISTA et al., 2006), (CAPRA & SCICOLONE, 2007), (LI et al., 2011), (BEER et al., 1994), (DENKHAUS et al., 2007).

Tarchitzky et al. (2013) estudando a ocorrência e causas de entupimentos em sistema de irrigação por gotejamento coletados de fazendas comerciais que utilizam efluente domésticos concluíram que a principal causa das incrustações nos emissores foram relacionados a elevados teores de matéria orgânica, e que em apenas dois casos as incrustações foi decorrente de altas teores de ferro. Li et al. (2011) observaram que a formação de biofilme encontra parâmetros máximos de formação quando a velocidade de fluxo é inferior  $0,45 \text{ m s}^{-1}$ , ao passo que a formação de biofilmes é controlado principalmente pela força de cisalhamento hidráulico acima desta velocidade crítica.

Tabela 1. Potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada.

Tipos de problema	Risco de entupimento					
	Menor		Moderado		Severo	
	a	b	a	b	a	b
<b>Físico</b>						
Sólidos suspensos (mg L <sup>-1</sup> )	<50		50-100		>100	
<b>Químico</b>						
pH	<7,0		7,0 - 7,5		>7,5	
Sólidos dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> )	<500		500 - 2.000		>2.000	
Manganês total (mg L <sup>-1</sup> )	<0,1		0,1 - 1,5		>1,5	
Ferro total (mg L <sup>-1</sup> )	<0,2		0,2 - 1,5		>1,5	
Sulfeto de hidrogênio (mg L <sup>-1</sup> )			0,2 - 2,0		>2,0	
Cálcio	<0,2	<12,5			12,5-22,5	>22,5
Magnésio	<2,0				2,0 - 7,3	>7,3
<b>Biológico</b>						
População bacteriana (UFC mL <sup>-1</sup> )	<10 <sup>4</sup>		10 <sup>4</sup> – 5 x10 <sup>4</sup>		>5 x10 <sup>4</sup>	

Nota: (a) Segundo Bucks et al. (1979) e (b) De acordo com Capra & Scicolone (1998); e UFC – unidades formadoras de colônias

Batista et al. (2011), trabalhando com três tipos de efluentes: efluentes doméstico preliminar (EDP), efluentes doméstico secundário (EDS) e efluentes doméstico terciário (EDT), após 500 h de operação, concluíram que as características de ferro total e coliformes totais representam risco severo de obstrução para gotejadores abastecidos com EDP, EDS e EDT, enquanto para as características manganês total, magnésio e cálcio tal risco é baixo. Observaram também que a formação de biofilme de sólidos suspensos e bactérias foi principal causa de obstrução dos gotejadores, e que após 500 h de operação, os valores de coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e uniformidades estatística (Us) apresentaram redução de 61 e 54%; 27 e 24%; e 57 e 59%, respectivamente, para os sistemas de irrigação abastecidos com EDP, EDS e EDT, passando de excelente para ruim conforme os critérios estabelecidos por Merriam & Keller (1978).

Silva et al. (2012) avaliaram o desempenho hidráulico do gotejador Katif, da marca Plastro Brasil, tipo externo, autocompensante, utilizado para irrigação com efluente doméstico em campo, por meio de testes de uniformidade e o desempenho hidráulico em laboratório de um novo lote sob quatro faixas de pressão (100, 150, 200 e 250 kPa). Observaram que o

melhor desempenho de uniformidade de distribuição em campo, foi obtido com a utilização do sistema de tratamento para esgoto com decanto digestor associado a um filtro digestor.

Puig-Barguéz et al. (2005) avaliaram a performance hidráulica de gotejadores que foram utilizados para irrigação com efluentes obtidos de dois tipos de tratamento (lodo ativado; e filtro de areia seguido de luz ultravioleta e cloração), observaram a redução da uniformidade de aplicação de água no efluente tratado com lodo ativado e atribuíram menor eficiência a este tipo tratamento. Já o tratamento terciário (luz ultravioleta) apresentou uniformidade de aplicação de água superior a 90%, o que os levou a concluir que é importante seguir a desinfecção correta dos efluentes para utilização na irrigação por gotejamento.

Batista et al. (2011) observaram interação significativa entre tempo de operação e tipo esgoto doméstico para os coeficientes CUD e US, obtendo melhores ajuste com equações lineares para EDP e EDT, e de equação quadrática para o EDS, observaram também que tanto o  $\text{Ca}^{2+}$ , quanto o  $\text{Mg}^{2+}$  apresentaram baixo risco de obstrução de gotejadores. Batista et al. (2009) trabalhando com EDT, também verificaram melhor ajuste com o modelo de regressão linear, após um tempo de operação de 560 h.

Com relação aos tratamentos para corrigir as obstruções, Nakayama & Bucks (1986) e Pizarro (1990) recomendam para recuperação do sistema de irrigação aplicar ácido para baixar o pH da água para 2, caso as obstruções sejam de origem química, e cloro na concentração de 150 a 300  $\text{mg L}^{-1}$  caso as obstruções sejam biológicas. Hills e Brenes (2001) observaram que a aplicação de 150  $\text{mg L}^{-1}$  de cloro total no filtro de areia, três horas a cada 10 dias, preveniu a formação de biofilme no elemento filtrante. No entanto, a cloração de efluentes com baixo potencial redox e alta concentração de sulfeto de hidrogênio causa impacto negativo no desempenho do sistema de filtração, por causa da formação de precipitados (RAVINA et al., 1997).

A aplicação contínua é feita utilizando-se baixas dosagens de cloro (1 a 10  $\text{mg L}^{-1}$  de cloro livre), e a intermitente pode ser efetuada utilizando-se aplicações de choque, fazendo uso de altas dosagens de cloro (acima de 100  $\text{mg L}^{-1}$ ), na última meia hora ou uma hora de irrigação, deixando o sistema hidráulico desativado por pelo menos 12 horas. De modo geral, o tratamento com utilização combinada de ácido e cloro apresenta vantagens, em relação ao uso exclusivo de ácidos ou cloro, tanto em termos de efetividade como também de economia, sendo o tratamento com ácido normalmente efetuado com frequência semanal, utilizando-se o mesmo tempo da aplicação do cloro (CORDEIRO, 2002; SOUZA et al., 2006).

Resende et al. (2000) avaliaram a eficiência de dosagens de cloro (150, 300, 450 e 600 mg L<sup>-1</sup>.) na desobstrução biológica em cinco tipos de gotejadores, e observaram que a aplicação de cloro proporcionou aumento da vazão média. Teixeira et al. (2008) testaram a eficiência de duas concentrações de cloro livre (10 e 50 mg L<sup>-1</sup> a 10% com pH 5,5-6,0) e ácido nítrico (pH 2,0) na recuperação de emissores convencionais que apresentavam problemas de entupimento de origem biológico ou químico e observaram a utilização de 50 mg L<sup>-1</sup> para recuperação da vazão dos gotejadores proporcionou melhores resultados.

Capra & Scicolone (1998), realizaram estudo e verificaram que as amostras de vazões obtidas a partir de 16 gotejadores foram suficientes para avaliar a uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por gotejamento com problemas de entupimento em condições de campo.

Os valores dos coeficientes CUC, CUD e CVQ obtidos para sistemas de irrigação por gotejamento podem ser classificados. Merriam e Keller (1978) propuseram a seguinte classificação para os valores de CUC e CUD: maior que 90%, excelente; entre 80 e 90%, bom; 70 e 80%, razoável; e menor que 70%, ruim. A norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003) sugere a seguinte classificação para os valores de CVQ: menor que 10%, bom; entre 10 e 20%, razoável; e maior que 20%, inaceitável.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da chapada do Apodi - RN**. 2009. 56p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2009.
- ALMEIDA, R.G. Aspectos legais para a água de reuso. **Vértices**, v.13, p.31-43, 2011.
- ALVAREZ, J.A.; ARMSTRONG, E.; GOMEZ, M.; SOTO, M. Anaerobic treatment of low-strength municipal wastewater by a two-stage pilot plant under psychrophilic conditions. **Bioresource Technology**, v.99, p.7051-7062, 2008.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR). Plano Nacional de Recursos Hídricos. 2003. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/pnrh/index.htm>> Acesso em: 20 nov. 2013.
- ANDRADE NETO, C.O.; SOBRINHO, P.A.; MELO, H.N.S. de; AISSE, M.M. Decanto-digestores. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999.
- ANDRADE, L.O.; NOBRE, R.G.; SOARES, F.A.L.; GHEYI, H.R.; FIGUEIREDO, G.R.G.; SILVA, L.A. Germinação e crescimento inicial de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) irrigadas com água residuárias. **Revista Educação Agrícola Superior**. v.22, p.48-50, 2007.
- ASAE EP 405. **Design and installation of microirrigation systems**. ASAE Standards, St. Joseph, p.900-905, 2003.
- ASANO, T.; BURTON, F.; LEVERENZ, H.; TSUCHIHASHI, R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Water reuse: Issues, Technologies and Applications**. McGraw-Hill Professional Publishing, New York, 2007. ASANO, T.; BURTON, H.; LEVERENZ, R.; TSUCHIHASHI and G. TCHOBANOGLOUS, 2007. **Water reuse: issues, technologies and applications**. New York, McGraw-Hill Professional Publishing, 2007. 1570 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**: NBR 9648. Rio de Janeiro, 1986.
- AZEVEDO, J.; DUTRA, I.C.B.; COSTA, F.G.B.; BATISTA, R.O.; COSTA, L.R. Alterações químicas de cambissolo fertirrigado com água residuária doméstica tratada. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.9, p.66-76, 2013.

AZEVEDO, L.P.; OLIVEIRA, E.L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.253-263, 2005.

BALOTA, E.L.; MANCHINESKI, O.; TRUBER, P.V.; CERENZINI, P.; SCHERER, A. Efeito dos fungos micorrízicos arbusculares sob diferentes doses de fósforo no girassol e amendoim. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, p.1-8, 2010.

BANGE, M.P.; HAMMER, G.L.; RICKERT, K.G. Environmental control of potencial yield of sunflower in the subtropics. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.48, p.231-240, 1997.

BARBOSA, A.F.; BOTARI, A.; FREIRE, F.B. Análise do tratamento de água residuária sintética em reator UASB seguido de filtro preenchido com solo natural. **Revista Tecnológica**, v.18, p.53-67, 2009.

BATISTA, R.O.; COSTA, F.G.B.; LOPES, H.S.S.; COELHO, D.C.L.; PAIVA, M.R.F.C. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. **Revista Caatinga**, v.24; p.137-144, 2011.

BATISTA, R.O.; SOARES, A.A.; MARIN, O.L.Z.; SOUZA, J.A.R.; LEITE, C.V.; MOREIRA, D.A. Taponamiento de goteros y del filtro de discos con agua residual sanitaria de una laguna de maduración. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, v.62, p.4957-4966, 2009.

BATISTA, R.O.; SOARES, A.A.; MATOS, A.T.; MANTOVANI, E.C. Efeito do efluente de lagoa de maturação em gotejadores com e sem tratamento químico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.62-65, 2005.

BATISTA, R.O.; SOARES, A.A.; MATOS, A.T.; MANTOVANI, E.C. Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo. **Acta Science Technology**, v.28, p.213-217, 2006.

BATISTA, R.O.; SOUZA, J.A.R.; FERREIRA, D.C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, v.57, p.18-22, 2010.

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S.C.; SILVA, T.R.; TEO, C.R.P.A.; BOAS, M.A.V. Reuso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.152-163, 2007.

BEER, D.; SRINIVASAN, R.; STEWART, P.S. Direct measurement of chlorine penetration in biofilms during disinfection. **Applied and Environmental Microbiology**, v.60, p.4339-4344, 1994.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 62p.

BERNSTEIN, N.; BARTAL, A.; FRIEDMAN, H.; ROT, I.; SNIR, P.; CHAZAN, A.; IOFFE, M. Application of treated wastewater for cultivation of roses (*Rosa hybrida* L.) in soil-less culture. **Scientia Horticulturae**, v.108, p.185-193, 2006.

BIODIESELBR. Disponível em <[www.biodieselbr.com/noticias/regulacao/r/industrias-biodiesel-b7-2013-020812](http://www.biodieselbr.com/noticias/regulacao/r/industrias-biodiesel-b7-2013-020812)> Indústrias de biodiesel apostam em mistura de 7% já em 2013. Acessado em 2 ago 2012.

BLUM, J.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R. Nutrição mineral da cana-de-açúcar irrigada com efluente de esgoto tratado, em área com aplicação de fosfogesso **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.47, p.593-602, 2012.

BLUM, J.; MELFIA, A.J.; MONTES, C.R.; GOMES, T.M. Nitrogen and phosphorus leaching in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, v.117, p.115-122, 2013.

BONACIN, G.A.; RODRIGUES, T.J.D.; CRUZ, M.C.P.; BANZATTO, D.A. Características morfofisiológicas de sementes e produção de girassol em função de boro no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.111-116, 2008.

BOND, W.J. Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.543-555, 1998.

BOUWER, H.; CHANEY, R.L. Land treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**. v.26, p.133-176, 1974.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. ABES, 1995.

- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management.** Amsterdam: Elsevier Science Publ. 1986, 163p.
- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, v.2, p.149-162, 1979.
- CAMPOS, J.R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p. Projeto PROSAB.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.68, p.135-149, 2004.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, v.15, p.1529-1534, 2007.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.70, p.355-365, 1998.
- CARARO, D.C.; BOTREL T.A.; HILLS, D.J.; LEVERENZ, H.L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**. v.22, p.251-257, 2006.
- CARARO, D.C.; BOTREL, T.A. Uso de cloração e ar comprimido no controle do entupimento de gotejadores ocasionado pela aplicação de água residuária. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.336-345, 2007.
- CARR, R.M.; BLUMENTHAL, V.J.; MARA, D.D. Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture: revisiting WHO guidelines. **Water Science and Technology**, v.50, p.31-38, 2004.
- CARVALHO, R.S.; SANTOS FILHO, J.S.; SANTANA, L.O.G.; GOMES, D.A.; MENDONÇA, L.C.; FACCIOLI, G.G. Influência do reuso de águas residuárias na qualidade microbiológica do girassol destinado à alimentação animal. **Ambi-Água**, v.8, p.157-167, 2013.
- CASTRO, C. MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R.F.; DECHEN, A.R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciências Agrotécnicas**, v.30, p.214-220, 2006.
- CAVALLET, L.E.; LUCCHESI, L.A.C.; MORAES, A.; SCHIMIDT, E.; PERONDI, M.A.; FONSECA, R.A. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residuárias da

indústria de enzimas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.724-729, 2006.

CENTRAL BUREAU OF STATISTICS. **Water production and consumption**. 2011. (Statistical abstract of Israel, 62). Available at: <<http://www.cbs.gov.il>>. Accessed on: 15 Nov. 2011.

CHERNICHARO, C.A.L.; FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; PIVELI, R.P.; von SPERLING, M.; MONTEGGIA, L.O.; **Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso de água**, In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. (Coord.). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro/RJ: ABES, 2006. Cap. 3, p.63-110. (Projeto PROSAB).

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **ITEM**, n.54, p.46-55, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **ITEM**, v.49. p.8-13, 2001.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 1 - Safra 2013/14, n. 10 - Décimo Levantamento, Brasília, p. 1-85, jul. 2014 Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 julho. 2014.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n. 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. Diário Oficial da União, Brasília – DF, março de 2005.

CORDEIRO, E.A. **Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento**. 2002. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G.; ÚNGARO, M.R.; BERNARDI, J.A.; STORINO, M. Desempenho de motor diesel com mistura de biodiesel de óleo de girassol. **Ciências Agrotécnicas**, v.32, p.923-928, 2008.

COSTA, C.N.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. **Fundamentos de química do solo**. 2ª. Ed. MEURER, E.J. (Ed.). Porto Alegre: Gênese, 2004.

COSTA, F.X.; LIMA, V.L.A.; BELTRÃO, N.E.M.; AZEVEDO, C.A.V.; SOARES, F.A.L.; ALVA, I.D.M. Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.687-693, 2009.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; BASTOS, A. L.; ALBUQUERQUE, A. W. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.56-62, 2009.

CUNHA, F. F.; PORDEUS, R.V.; MARACAJÁ, P.B.; FREITAS, R.S.; MESQUITA, L.X. Manejo da micro-irrigação baseada em avaliação de sistema na cultura do meloeiro. **Revista Caatinga**, v.21, p.147-155, 2008.

CUNHA, V. D. **Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reuso urbano**. 2008, 106 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental, São Paulo, SP, 2008.

CUTOLO, S.A. **Reuso de águas residuárias e saúde pública**. São Paulo: Annablume, 2009. 96p.

DAMASCENO, L.M.O.; ANDRADE JÚNIOR, A.S., GHEYI, H.R., DIAS, N.S.; SILVA, C.O. Composição nutricional foliar da gérbera irrigada com efluente doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v.24, p.121-128, 2011.

DANTAS, T.B. **Níveis de contaminação no solo e na água decorrentes do uso de efluentes em perímetro urbano**. 2012. 46p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, 2012.

DEGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; OULD AHMAD, H.; FUJIYAMA, H.Y., MIYAMOTO, K. The effect of chlorine on emitter clogging induced by algae and protozoa and the performance of drip irrigation. **Transactions of ASAE**, v.48, p.519-527, 2005.

DENKHAUS, E, MESEN, S, TELGHEDER, U, WINGEBDER, J. Chemical and physical methods for characterization of biofilms. **Microchimica Acta**, v.158, p.1-27, 2007.

DEON, M.D.; GOMES, T.M.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R.; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana de açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1149-1156, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 2000. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33). Tradução de H.R. GHEYI; A.A. de SOUZA, F.A.V; DAMASCO, J.F. de MEDEIROS. 2000.

DOSORETZ C.; TARCHITZKY J.; KATZ I.; KENIG E.; CHEN Y. Development and effects of a fouling layer in distribution and irrigation systems applying treated wastewater effluents. In: LEVY, G.; FINE, P.; BAR-TAL, A. (eds.) **Use of treated sewage water in agriculture: impacts on crops and soil environment**. Oxford, Blackwell Publishing, p.328-350. 2011.

DUARTE, A.S.; AIROLDI, R.P.S.; FOLEGATTI, M.V.; BOTREL, T.A. SOARES, T.M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.302-310, 2008.

DURAN-ROS, M.; PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; CARTAGENA, F. R. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. **Agricultural Water Management**. v.96, p.67-79, 2009.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Tecnologia de produção – Girassol. Disponível em:<[http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op\\_page=54](http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=54) > Acesso em 10 mar. 2011. (Embrapa Soja. Sistema de produção, 1).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Informes da avaliação de genótipos de girassol 2004/2005 e 2005**. Londrina, 2006. 121 p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 271).

EMONGOR, V.E.; RAMOLEMANA, G.M. Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.29, p.1101-1108, 2004.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

ERTHAL, V.J.T.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T.; PEREIRA, O.G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, p.467-477, 2010.

FAGUNDES, J. D.; SANTIAGO, G.; MELLO, A. M. de; BELLÉ, R. A.; STRECK, N. A. Crescimento, desenvolvimento e retardamento da senescência foliar em girassol de vaso

(*Helianthus annuus* L.): Fontes e doses de nitrogênio. **Revista Ciência Rural**, v.37, p.987-993, 2007.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. 2013. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org/>>. Acesso em 08/11/13.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Sources, treatment, processes and uses of sewage effluent. In: FEIGIN, A.; RAVINA, I. SHALHEVET, J. (ed.). **Irrigation with treated sewage effluent**. Berlin: Springer-Verlag, cap. 2, p.3-33, 1991.

FONSECA, A.F.; HERPIM, U.; PAULA, A.M.; VICTÓRIA, R.L.; MELFI, A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, v.64, p.194-209, 2007.

FONSECA, A.F.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. I. Plant dry matter yield and soil nitrogen and phosphorus availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.1965-1981, 2005.

FREIRE, F.B.; PIRES, E.C.; FREIRE, J.T. Tratamento anaeróbio de pentaclorofenol em reator de leito fluidificado alimentado com água residuária sintética contendo glicose como fonte única de carbono. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**. v.13, p.339-346, 2008.

FRIEDMAN, H.N.; BERNSTEIN, M.; BRUNER, I.; ROT, Z.; BEN-NOON, A.; ZURIEL, R.; ZURIEL, S.; FINKELSTEIN, N.; UMIEL; HAGILANDI, A. Application of secondary-treated effluents for cultivation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and celosia (*Celosia argentea* L.) as cut flowers. **Scientia Horticulturae**. v.115, p.62-69, 2007.

FRIGO, E.P.; SAMPAIO, S.C.; FREITAS, P.S.L.; QUEIROZ, M.M.F.; NOBREGA, L.H.P.; MALLMANN, L.S. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Irriga**, v.11, p.305-318, 2006.

GADALLAH, M.A.A. Effects of industrial and sewage waste water on the concentration of soluble carbon, nitrogen, and some mineral elements in sunflower plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p.1369-1384, 1994.

GLOAGUEN T.V.; FORTI, M.C.; LUCAS, Y.; MONTES, C.R.; GONÇALVES, R.A.B.; HERPIN, U.; MELFI, A.J. Soil solution chemistry of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**. v.88, p.119-131. 2007.

GLOAGUEN, T.V. **Transferências de espécies químicas através de um solo cultivado com milho e girassol e fertirrigado com efluente de esgoto doméstico**. 2006. 112p. (Tese de Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006.

GOMES, T.M.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R.; SILVA, E.; SUNDEFELD JÚNIOR, G.C.; DEON, M.D.; PIVELLI, R.P. Aporte de nutrientes e estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção. **Revista DAE**. n.180, p.17-23, 2009.

HALLIWELL, D.J.; BARLOW, K.; NASH, D.M. A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. **Australian Journal of Soil Research**, v.39, p.1259-1267, 2001.

HARUVY, N. Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.66, p.133-119, 1997.

HERPIN, U.; GLOAGUEM, T.V.; FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; MENDONÇA, F.C.; PIVELI, R.P., BREULMANN, G.; FORTI, M.C.; MELFI, A.J. Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation – A pilot field study in Brazil. **Agricultural Water Management**, v.89, p.105-115, 2007.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, p.131-158, 2008.

HESPANHOL, I. Viabilidade de um AVAD(\*) não superior a 10-4 por pessoa por ano, para reuso agrícola de água, em países em desenvolvimento. **Ambi-Água**, v.4, n.2, p.124-134, 2009.

HILLS, D. J.; BRENES, M. J. Microirrigation of wastewater effluent using drip tape. **Applied Engineering in Agriculture**, v.17, p.303-308, 2001.

HUSSAIN I.; L. RASCHID; M. A. HANJRA; F. MARIKAR; W. van der HOEK. **Wastewater use in agriculture: review of impacts and methodological issues in valuing impacts**. Working Paper 37. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 2002. 55p.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface drip of residential effluent: I. soil chemical characteristics. **Transaction of the ASAE**, v.44, p.1149-1157, 2001.

- KATO, M.T.; ANDRADE NETO, C.O.; CHERNICHARO, C.A.L.; FORESTI, E.; CYBIS, L.F. Configurações de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. 435p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinold, 1990. 643p.
- KIZILOGLU, F.M.; TURAN, M.; SAHIN, U.; KUSLU, Y.; DURSUN, A. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. **Agricultural Water Management**, v.95, p.716-724, 2008.
- LAZZAROTTO, J.J.; ROESSING, A.C.; MELLO, H.C. O agronegócio do girassol no mundo e no Brasil. In: LEITE, R. M. V. B.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p.15-42.
- LEAL, R.M.P.; FIRME, L.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; DIAS, C.T.S.; MELFI, A.J. Carbon and nitrogen cycling in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, v.97, p.271-276, 2010.
- LEAL, R.M.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F. da; FIRME, L.P.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, v.96, p.307-316, 2009.
- LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, Londrina, cap.1, 2005. p.1-14.
- LEÓN, G.S.; CAVALLINI, J.M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução de GHEYI, H.R.; KONIG, A.; Caballos, B.S.O.; Damasceno, F.A.V. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 151p.
- LI, G.B.; LI, Y.K.; XU, T.W.; LIU, Y.Z.; JIN, H.; YANG, P.L.; YAN, D.Z.; REN, S.M.; TIAN, Z.F. Effects of average velocity on the growth and surface topography of biofilms attached to the reclaimed wastewater drip irrigation system laterals. **Irrigation Science**. v.30, p.103-113, 2011.

- LOBO, T.F.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, v.7, p.16-25, 2007.
- LOPES, P.V.L.; MARTINS, M.C.; TAMAI, M.A.; OLIVEIRA, A.C.B.; CARVALHO, C.G.P. **Produtividade de genótipos de girassol em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009, 4p. Comunicado Técnico, 208.
- LV, S.; ZHANG, K.W; GAO, Q; LIAN, L.J.; SONG, Y.J.; ZHANG, J.R. Overexpression of an H<sup>+</sup>-PPase gene from *Thellungiella halophila* in cotton enhances salt tolerance and improves growth and photosynthetic performance. **Plant & Cell Physiology**, v.49, p.1150-1164, 2008.
- MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Irrigação por gotejamento do tomateiro industrial durante o estágio de frutificação, na região de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, v.24, p.342-346, 2006.
- MATOS, A.T.; BRASIL, M.S.; FONSECA, S.P.P. Aproveitamento de efluentes líquidos domésticos e agroindustriais na agricultura. In: Encontro de Preservação de Mananciais da Zona da Mata Mineira, 3, 2003, Viçosa. **Anais...** Viçosa: ABES-MG, ABAS-MG, DEA/UFV, 2003. p.25-79.
- MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.; FERREIRA, P.; NEVES, J.C.L.; MATOS, A.T.; SOUZA, J.A.A. de. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.603-612, 2005
- MELI, S.; PORTO, M.; BELLIGNO, A.; BUFO, S. A.; MAZZATURA, A.; SCOPA, A. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. **The Science of the Total Environment**, v.285, p.69-77, 2002.
- MELLOUL, A.A.I.T; HASSANI, L.; RAFOUK, L. Salmonella contamination of vegetables irrigated with untreated wastewater. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.17, p.207-209, 2001.
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.
- MERRIEN, A. **Physiologie du tournesol**. Paris: CETOM, 1992. 66p.

METCALF e EDDY. Inc. **Wastewater engineering treatment disposal reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 2003. 1815p.

MIERZWA, J. C. O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria: estudo de caso da Kodak Brasileira. 2002, 367p. (Tese de Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo, SP, 2002.

MONTE, M. H. F; SOUSA, M. S. Effect on crop of irrigation with facultative pond effluent. **Water Science and Technology**, v.26, p. 1603-1613, 1992.

NAKAYAMA, F.S.; BOMAN, B.J.; PITTS, D.J. Maintenance. In: LAMM, F.R. J.E. AYARS, F.S. NAKAYAMA (Ed.), **Microirrigation for crop Production**. Design, operation, and management, Amsterdam, Elsevier, 2007. p. 389-430.

NASCIMENTO, A.K.S.V; DIAS, N.S. Produção de aquênio do girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.371-376. 2011.

NASCIMENTO, M.B.H.; LIMA, V.L.A.; AZEVEDO, C.A.V.; SOUZA, A.P. Propriedades químicas do solo cultivado com mamona, irrigado com água residuária tratada e adubado com biossólido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.4, p.8-15, 2009.

NOBRE, R.G.; GHEYI, H.R.; SOARES F.A.L.; ANDRADE L.O. de; 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, p.747-754, 2010.

OLIVEIRA, I.R.; CARVALHO, H.W.L.; CARVALHO, C.G.P.; LIRA, M.A.; FERREIRA, F.M.B.; TABOSA, J.N.; MACEDO, J.G.G.; FEITOSA, L.F.; RODRIGUES, C.S.; MELO, K.E.O.; MENEZES, A.F.; SANTOS, M.L. Avaliação de cultivares de girassol em municípios dos estados da Bahia, Alagoas, Sergipe e Rio Grande do Norte: ensaios realizados no ano agrícola de 2008. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. 6p. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado Técnico, 105.

ORON, G, CAMPOS, C; GILLERMAN, L; SALGOT, M. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. **Agricultural Water Management**, v.38, p.223-234. 1999.

PAPADOPOULOS, I.; STYLIANOU, Y. Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater. **Agricultural Water Management**, v.19, p.67-75.1991.

PARANYCHIANAKIS, N.V.; ANGELAKIS, A.N.; LEVERENZ, H.; TCHOBANOGLOUS, G. Treatment of wastewater with slow rate systems: a review of treatment processes and plant functions. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.36, p.187-259, 2006.

PENG, J., STEVENS, D.K., YANG, X. A pioneer project of wastewater reuse in China. **Water Research**, Stevinweg, v.29, p.357-363, 1995.

PEREIRA, B.F.F.; HE, Z.L.; SILVA, M.S.; HERPIN, U.; NOGUEIRA, S.F.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Reclaimed wastewater: Impact on soil-plant system under tropical conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v.192, p.54-61, 2011.

PESCOD, M.B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: FAO, 1992, Irrigation and Drainage Paper, n.47, 118 p.

PESSOA, C.A; JORDÃO, E.P. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: PINTO, M.C.K.; CRUZ, R.L.; FRIGO, E.P.; FRIGO, M.S.; HERMES, E. Contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio devido à irrigação com efluente do tratamento de esgoto. **Irriga**, v.18, p.270-281, 2013.

PIZARRO, F. **Riego localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación**. 2ed. Madrid:Mundi-Prensa. 1990. 471p.

PRADO, R.M.; NATALE, W. Efeito da aplicação de silicato de cálcio no crescimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.185-90, 2005.

PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. **Agricultural Water Management**, v.77, p.249-262, 2005.

PUTT, E.D. History and present world status. In: Carter J.F.(ed). **Sunflower science and technology**. Madison Wisconsin, ASA, CSSA and ASSA, 1978, p.1-30.

QUEVEDO, C.M.G.; PAGANINI, W.S. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. **Ciência de saúde coletiva**, v.16, p.3529-3539, 2011.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAMALHO FILHO, A.; PÉREZ, D.V.; AMARAL, F.C.S.; TAVARES, S.R.L. Parâmetros do sistema relacionados à qualidade e custo de captação da água para irrigação. In: AMARAL, F. C. S. do. **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na região semiárida**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005, cap. 4, p.73-82.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIAL, Y.Z.; LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. **Agricultural Water Management**, v.33, p.27-137. 1997.

RESENDE, R.S.; COELHO, R.D.; PIEDADE, S.M.S. Eficiência da cloração da água de irrigação no tratamento de gotejadores com entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.382-389, 2000.

RIBEIRO, T.A.P.; AIROLDI, R.P.S.; PATERNIANI, J.E.S.; SILVA, M.J.M. Variação temporal da qualidade da água no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.450-456, 2005.

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: fact or fiction? **Agricultural Water Management**, v.80, p.5-22, 2006.

RUTKOWSKI, T.; RASHID-SALLY, L.; BUECHLER, S. Wastewater irrigation in the developing world-two case studies from the Kathmandu Valley in Nepal. **Agricultural Water Management**, v.88. p.83-91, 2007.

SANDRI, D.; MATSURA, E.E; TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.755-764, 2009.

SANDRI, D; MATSURA, E.E; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, p.45-57, 2006.

SANTOS JUNIOR, J.A.; GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; SOARES, F.A.L.; NOBRE, R.G. Doses de boro e água residuária na produção do girassol. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, p.857-864, 2011.

São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SHUVAL, H.I.; ADIN, A.; FATTAL, B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. **Wastewater Irrigation in Developing Countries – Health Effects and Technical Solutions**. Integrated resource recovery, Washington, UNDP Project Management Report n. 6, World Bank Technical Paper n.51,1986, 324p.

SHUVAL, H.I.; LAMPERT, Y. FATTAL, B. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. **Water Science and Technology**, v.35, p.15-20, 1997.

SILVA, A.K.P.; FLORES, L.C.; GALDEANO, M.M.; VAL, P.T. **Reuso de água e suas implicações jurídicas**. São Paulo, Editora Hermano & Bugelli Ltda, 2003. 250p.

SILVA, E.N.; SILVA, E.N.; SILVEIRA, J.A.G.; FERNANDES, C.R.R.; DUTRA, A.T.B.; ARAGÃO, R.M. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansão sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p.240-246, 2009.

SILVA, L.P.; SILVA, M.M.; CORREA, M.M.; SOUZA, F.C.D.; SILVA, E.F.F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.480-486, 2012.

SINGH, S.P.; PRERNA, P. Review of recent advances in anaerobic packed bed biogas reactors. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, p.1569-1575, 2009.

SOUSA, J.T. de; LEITE, V.D. **Tratamento e Utilização de Esgotos Domésticos na Agricultura**. Campina Grande: Ed. EDUEP, 2003. 135p.

SOUZA, A.; ARIAS, C.A.; OLIVEIRA, M.F.D.; CASTIGLIONI, V.B.R. Selection of sunflower cultivars for boron efficiency using nutrient solution. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.3, p.125-132, 2003.

SOUZA, A.; OLIVEIRA, M.F.; CASTIGLIONI, V.B.R. O boro na cultura do girassol. **Semina: Ciências Agrárias**, v.25, p.27-34, 2004.

SOUZA, J. A.A.; CORDEIRO, E.A.; COSTA, E.L. da. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.5-9, 2006.

- SOUZA, R.M.; NOBRE, R.G.; GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; SOARES, F.A.L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, v.23, p.125-133, 2010.
- STEWART, H.T.L.; HOPMANS, P.; FLINN, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.63, p.155-177, 1990.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. SANTARÉM, E.R. et al. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.
- TAMIMI, Y.N.; MATSUYAMA, D.T.; TAKATA, K.D.I.; NAKANO, R.T. Distribution of nutrient in Cut-flower roses and the quantities of biomass and nutrients removed during harvest. **Horticulture Science**. v.34. p.251-253, 1999.
- TEIXEIRA, M.B.; MELO, R.F.; COELHO, R.D.C.; RETTORE NETO, O.; RIBEIRO, P.A.A. Tratamento para desentupimento de gotejadores convencionais. **Irriga**, v.13, p.235-248, 2008.
- TONETTI, A.L.; CERQUEIRA, R.S.; CORAUCCI FILHO, B.; VON SPERLING, M.; FIGUEIREDO, R.F.; **Tratamento de esgotos de pequenas comunidades pelo método do escoamento superficial no solo. Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.13, p.69-79, 2009.
- TORRES, E.; ABRANHAM, E.; MONTAÑA, E.; SALOMÓN, M.; TORRES, L.; URBINA, S.; FUSARI, M. **Mendoza y el uso del agua**. In: CIRELLI, A.F. ABRAHAM, E.M. (ed.). El agua en Iberoamérica. Aspectos de la problemática de las tierras secas, Buenos Aires (ed), CYTED, Subprograma XVII, 2003. p.17-33.
- TRANI, P.E. Hortaliças folhosas e condimentos. In: PEREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. (ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.293-510.
- TRAVASSOS, K.D.I.; SOARES, F.A.L.; GHEYI, H.R.; SILVA, D.R.S.; NASCIMENTO, A.K.S.V.; DIAS, N.S. Produção de aquênio do girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.371-376. 2011.
- TZANAKAKIS, V.A.; PARANYCHIANAKIS, N.V.; ANGELAKIS, A.N. Nutrient removal and biomass production in land treatment systems receiving domestic effluent. **Ecological Engineering**, v.35, p.1485-1492, 2009.

UNGARO, M.R.G. O girassol no Brasil. O agrônomo, Campinas, v.34, p.43-62, 1982.

VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N.J.; MARA, D.D. Management of wastewater for reuse in irrigation. **Water Science and Technology**, v.33, p.355-362, 1996.

VIANA, M.M. **Inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girassol**. 2008. 223p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2008.

von SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Minas Gerais: Editora UFMG, 2005. 211p.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. v.2: Wastewater use in agriculture. Genebra: WHO, 2006. 196 p.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report Series. Geneva: WHO, 2004, 74p.

## **CAPÍTULO II**

---

### **CRESCIMENTO E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO GIRASSOL IRRIGADO COM EFLUENTES DOMÉSTICOS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

# CRESCIMENTO E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO GIRASSOL IRRIGADO COM EFLUENTES DOMÉSTICOS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

## RESUMO

A utilização de águas residuárias na atividade agrícola proporciona redução da poluição nos recursos hídricos e sustentabilidade da agricultura irrigada, economizando águas superficiais não poluídas e otimizando a utilização dos recursos naturais. Objetivou-se com este trabalho avaliar os componentes de crescimento e de produção do girassol (*Helianthus annuus* L.) irrigado com águas residuárias domésticas tratadas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram formados pela utilização de dois fatores, sendo o primeiro, tipos de águas (A<sub>1</sub> - residuária tratada por reator anaeróbio UASB, A<sub>2</sub> - residuária tratada com decanto digestor e filtração anaeróbia, A<sub>3</sub> - residuária tratada por filtração anaeróbia, e A<sub>4</sub> - água de abastecimento) e o segundo lâminas de irrigação (L<sub>1</sub> - igual à evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) e L<sub>2</sub> - 1,2 ET<sub>c</sub>). Ao longo do ciclo da cultura, foram monitoradas as variáveis de crescimento: diâmetro de caule, altura das plantas, largura e comprimento das folhas, e ao final do ciclo, foram determinados os componentes de produção: massa fresca por planta, massa seca por planta, diâmetro interno do capítulo, massa de 1000 aquênios, produção de aquênio por planta, produtividade aquênios por hectare, teor de óleo e rendimento de óleo. A irrigação com efluente doméstico, por qualquer dos três métodos estudados, proporcionaram melhoria significativa nas variáveis de crescimento e produção da cultura do girassol, quando comparado à irrigação com a água de abastecimento; além disso, o uso de efluentes tratados por decanto digestor com filtração anaeróbia (A<sub>2</sub>) e apenas filtração anaeróbia (A<sub>3</sub>) acarretaram, em média maiores rendimentos de óleo. As variáveis de produtividade apresentaram resultados superiores utilizando a lâmina de irrigação correspondente à evapotranspiração da cultura.

**Palavras-chave** - água residuária, reuso de água, esgoto doméstico tratado.

## **GROWTH AND YIELD OF SUNFLOWER IRRIGATED WITH DOMESTIC WASTEWATER IN SEMI-ARID PERNAMBUCANO**

### **ABSTRACT**

The use of domestic wastewater in agriculture provides a reduction of water pollution and sustainability of irrigated agriculture, saving surface water of good quality and optimizing the use of natural resources. The aim of this study was to evaluate the components of growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) irrigated with treated domestic wastewater. The experimental design was randomized blocks, factorial 2 x 4 with four replications. The treatments consisted of the use of two factors being the first, types of water (A<sub>1</sub> - wastewater treated by anaerobic the UASB reactor, A<sub>2</sub> - treated wastewater and anaerobic digester decant filtering, A<sub>3</sub> - wastewater treated by anaerobic filter, and A<sub>4</sub> – water supply) and the second factor by irrigation water depth levels (L<sub>1</sub> - equal to crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) and L<sub>2</sub> - 1.2 ET<sub>c</sub>). Throughout the crop cycle growth variables monitored were: stem diameter, plant height, width and length of the leaves, and at the end of the cycle yield components determined were: fresh mass per plant, dry weight per plant, diameter internal capitulum, mass of 1000 seeds, production of achene per plant, achene yield per hectare, oil content and oil yield. Irrigation with wastewater of any of the three studied treatment methods provide significant improvement in the variables of growth and production of sunflower compared to irrigation with supply water; The use of effluent treated by anaerobic decanting associated with anaerobic digester filtering (A<sub>2</sub>) and only anaerobic filter (A<sub>3</sub>) provided on average higher yields of oil. Variables of crop yield showed better results with the use of irrigation depth equal to crop evapotranspiration.

**Keywords** – wastewater, water reuse, levels of irrigation.

## INTRODUÇÃO

Os processos de urbanização, industrialização e expansão da atividade agrícola sem planejamento contribuem para a redução da disponibilidade hídrica na natureza, tanto em quantidade como em qualidade. Diariamente grandes volumes de esgotos, sem qualquer tratamento, são lançados no ambiente, sobretudo em países subdesenvolvidos, contaminando ainda mais as fontes de água. A escassez de água de boa qualidade para atividade agrícola é uma realidade em todo o mundo, assim, para manter a produção agrícola e garantir o suprimento da população crescente, é inevitável a utilização de águas de baixa qualidade na irrigação (SAVVAS, 2007).

Estudos apontam que, para alimentar os nove bilhões de pessoas que habitarão a Terra em 2050, a produção global de alimentos precisará aumentar 60% (ALEXANDRATOS & BRUINSMA, 2012), ocupando apenas 12% a mais de terras aráveis. Portanto, até 2050, a agricultura deverá ser capaz de produzir mais alimentos, para uma população mundial mais numerosa, além de mais urbana e mais rica, o que implicará novos hábitos de consumo e novos modos de vida. Até 2050, a tendência é a diminuição do consumo de cereais e de outros alimentos básicos e o aumento do consumo de produtos como hortaliças, frutas, carnes, lácteos e pescado (FAO, 2009). Estudos apontam que em 2050, cerca de 3 bilhões de pessoas estarão vivendo em países com escassez de recursos hídricos e com sérios problemas relacionados à produção dos próprios alimentos (CHRISTOFIDIS, 2002; RIJSBERMAN, 2006). Isso impõe à sociedade medidas de gerenciamento dos recursos hídricos de forma a atender usos mais nobres (SANTOS et al., 2006; BEZERRA e FIDELES FILHO, 2009).

A escassez de água de boa qualidade para atividade agrícola é uma realidade em todo o mundo, assim, para manter a produção agrícola e garantir o suprimento da população crescente, é inevitável a utilização de águas de baixa qualidade na irrigação (SAVVAS, 2007). Desta forma, a utilização de águas residuárias tratadas na agricultura é uma técnica que apresenta diversas vantagens, dentre as quais, minimização da poluição hídrica dos mananciais, economia de água de melhor qualidade e diminuição dos gastos com adubação química (SILVA, 2007; DEON et al., 2010).

A região Nordeste do Brasil apresenta 58% do seu território em condições climáticas de elevada evapotranspiração, sendo, portanto, a escassez de água ainda mais acentuada (SOUSA et al., 2005). De acordo com Menezes & Oliveira (2008), essa região também é caracterizada por apresentar solos de baixa fertilidade natural, sendo também a utilização de

adubos inorgânicos pouco frequente devido ao limitado poder aquisitivo da maioria dos pequenos agricultores. Assim sendo, a utilização de efluentes domésticos na irrigação se constitui em uma opção que pode suprir tanto a necessidade hídrica como a demanda nutricional das culturas.

Com a crescente demanda energética em todo o mundo, a cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) vem sendo largamente cultivada objetivando o fornecimento de matéria-prima para a indústria alimentícia, destacando-se como uma das oleaginosas potenciais capaz de fomentar o Programa Biodiesel no Brasil (LOPES et al., 2009). Além disso, ela apresenta algumas características importantes como: ciclo curto, tolerância à falta d'água, fácil adaptação às diferentes condições climáticas, alta qualidade de óleo, possibilidade de fabricação de farelo, silagem e torta para alimentação animal, sendo portanto, com a crescente demanda do setor industrial e comercial, uma importante alternativa de renda aos produtores brasileiros (EMBRAPA, 2006).

O girassol é a quinta oleaginosa em área cultivada no mundo, com 18 milhões de hectares, e a quarta em produção de grãos, representando 13% de todo o óleo vegetal produzido (BALOTA et al., 2010). Segundo a CONAB (2014), a área estimada plantada com girassol no Brasil para a safra 2013-2014, é de 143,5 mil hectares concentrando-se no Centro-Sul do país. Estima-se um rendimento nacional médio de 1.721 kg ha<sup>-1</sup>, com o estado de Mato Grosso do Sul apresentando maior produtividade, 1.800 kg ha<sup>-1</sup>. Na região Nordeste do Brasil, a produtividade média na safra 2012-2013, foi de 422 kg ha<sup>-1</sup>, não existindo previsão de área plantada para o ano safra 2013-2014. No Estado do Pernambuco, a cultura do girassol é pouco expressiva, porém nas regiões do agreste e sertão, surge como alternativa para a produção de biodiesel e geração de emprego e renda na agricultura familiar.

Há uma expectativa da área cultivada ser expandida com essa oleaginosa devido à decisão do governo Federal de utilizar o biodiesel na matriz energética nacional, por meio de sua adição ao óleo diesel comercial. A Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que determinou a mistura obrigatória de 2% de biodiesel no diesel convencional a partir de 2008 e 5% a partir de 2013, foi um fato que desencadeou diversas ações de pesquisa sobre óleos vegetais como matéria-prima para a produção de biodiesel e há uma perspectiva pelo setor produtivo que esse percentual aumente para 10% em 2014 e chegue a 20% em 2020.

Objetivou-se com este trabalho avaliar os componentes de crescimento e de produção do girassol irrigado com águas residuárias domésticas tratadas na região semiárida do nordeste brasileiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no período de 05 de novembro de 2010 a 09 de fevereiro de 2011, no município de Ibimirim - PE, região semiárida do Nordeste Brasileiro, localizado nas coordenadas geográficas 8°32'05" S e 37°41'58" W e altitude de 408 m, a 333 km de Recife. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h', semiárido muito quente, com precipitação média anual de 454 mm e temperatura média anual em torno de 24,7 °C. Os meses mais quentes do ano possuem registros máximos de temperatura que variam de 35 a 40 °C, ocorrendo nos meses de novembro e dezembro, enquanto a temperatura mínima média é de aproximadamente 23 °C e ocorre nos meses de julho a agosto. Durante a condução do experimento registrou-se uma temperatura média 26,9 °C, e precipitação acumulada de 175,2 mm (Figura 1).

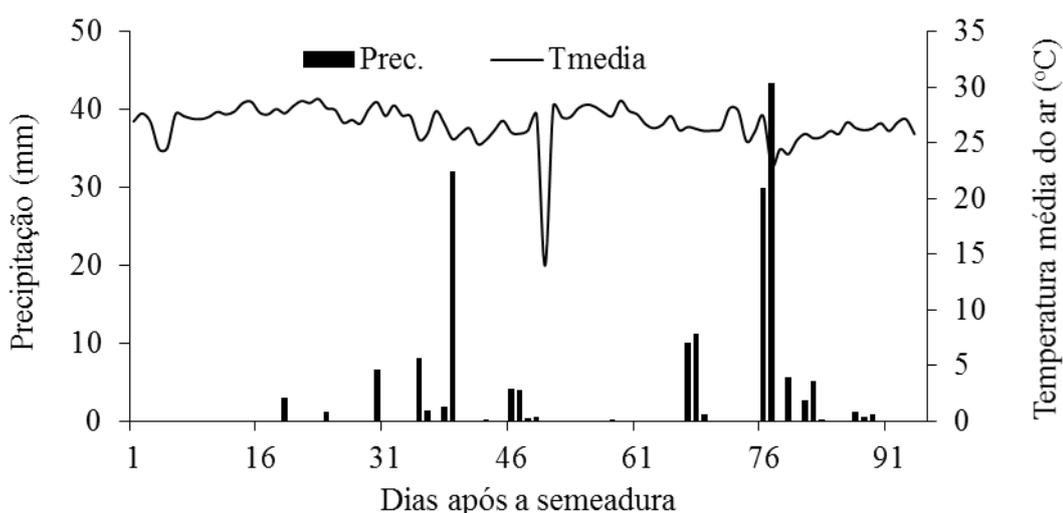


Figura 1. Dados diários de temperatura média e precipitação pluviométrica registrada durante a condução do experimento.

O solo foi caracterizado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico A moderado e relevo predominantemente plano (EMBRAPA, 2006), a composição textural encontra-se na Tabela 1, enquanto que na Tabela 2, estão expostos a caracterização química e físico-química do solo antes da implantação do experimento.

Tabela 1. Caracterização textural do solo. Ibimirim-PE, 2011.

Camadas de solo (m)	Horizontes	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
		g kg <sup>-1</sup>			
0 - 0,16	A	760	80	160	Franco arenosa
0,16 - 0,66	C1	760	80	160	Franco arenosa
0,66 - 0,99	C2	680	60	260	Franco argilo arenosa
0,99 - 1,34	C3	680	60	260	Franco argilo arenosa
1,34 - 1,55	C4	720	40	240	Franco argilo arenosa
1,55 <sup>+</sup>	R	740	40	220	Franco argilo arenosa

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental. Ibimirim -PE, 2010.

Camada (m)	pH <sub>H2O</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	H + Al	CTC	PST	V	P	COT	MO
		(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )						(%)			(mg kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	
0 - 0,2	7,1	2,39	2,30	0,26	0,36	5,31	2,90	8,21	4,38	64,8	71,41	2,97	5,1
0,2 - 0,4	7,0	1,88	2,20	0,25	0,38	4,71	3,26	7,97	4,77	61,4	42,34	1,65	2,84

Carbono orgânico total; MO - Matéria orgânica. SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca de cátions; PST - Porcentagem de sódio trocável; V - Saturação por bases; COT- carbono orgânico total.

Ressalta-se que no período de dezembro de 2009 a abril de 2010 a área foi cultivada com mamona (*Ricinus communis* L.) utilizando a cultivar BRS Energia, a qual foi irrigada também com efluentes domésticos tratados, justificando a elevada fertilidade do solo.

O sistema de esgotamento condominial atende a 500 habitações, apresentando uma vazão média de esgotos “in natura” de aproximadamente 450.000 L dia<sup>-1</sup>. A unidade piloto de reuso hidro-agrícola trata os esgotos por meio das seguintes etapas: preliminar - composto por grade de barras, caixa de areia e calha Parshall. Após esta etapa, o esgoto entra em um poço úmido de onde é bombeado para os sistemas de tratamento primário e secundário, conforme a configuração de instalação dos reatores digestores e filtros anaeróbios (Figura 2).

O preparo do solo foi realizado por meio de revolvimento com enxada nas linhas de plantio a uma profundidade de 0,15 m. Utilizou-se a cultivar Hélio 250, sendo a semeadura realizada de forma manual ao 5º dia do mês de novembro de 2010, distribuindo-se cinco sementes a cada 0,25 m, em espaçamento de 0,25 x 1,0 m, entre plantas e linhas respectivamente. Treze dias após a semeadura (DAS), procedeu-se o desbaste ajustando a população para 40.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Cada parcela foi composta por três fileiras de plantas de 6 m de comprimento, totalizando uma área experimental de 432 m<sup>2</sup>. A área útil foi formada pela fileira central, excluindo-se 0,5 m em cada extremidade (Figura 2).

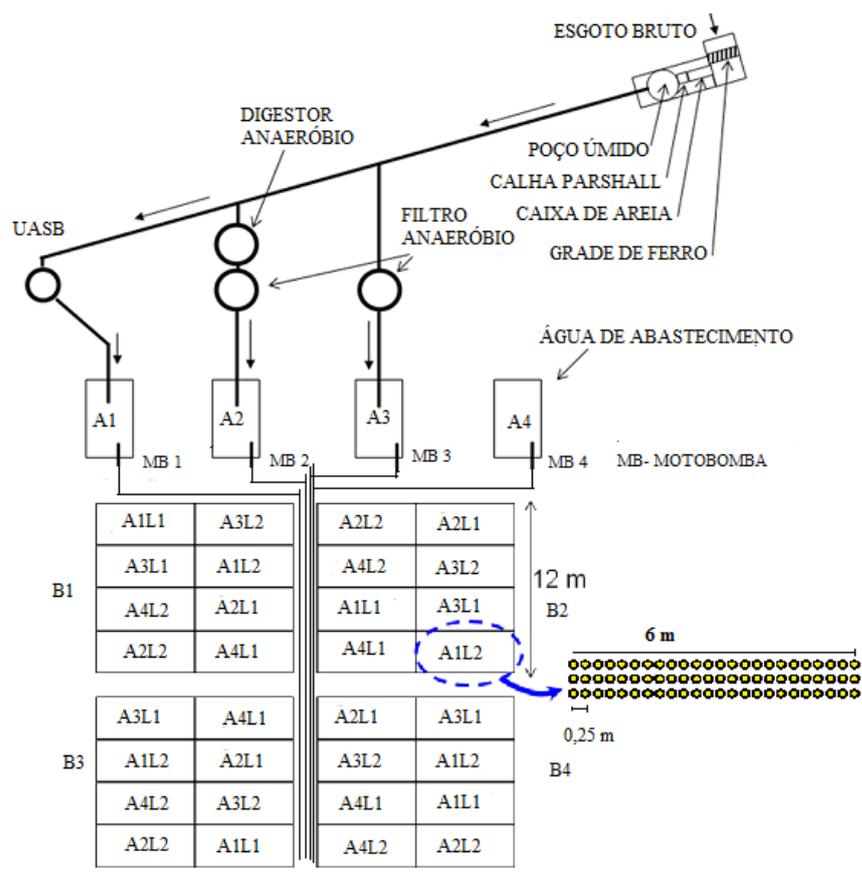


Figura 2. Instalações de coleta e tratamento de esgoto doméstico e croqui da área experimental. Ibirimir-PE, 2011.

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições. O primeiro fator foi formado pelos tipos de água, A<sub>1</sub> - águas residuárias doméstica tratadas por reator anaeróbico UASB, A<sub>2</sub> - águas residuárias doméstica tratadas por decanto digestor e filtração anaeróbia, A<sub>3</sub> - águas residuárias doméstica tratadas apenas por filtração anaeróbia e A<sub>4</sub> - água potável de abastecimento (testemunha); o segundo fator foi formado por lâmina de irrigação: L<sub>1</sub> - lâmina igual à evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), ou seja, sem fração de lixiviação e L<sub>2</sub> - lâmina de irrigação igual a 1,2 ET<sub>c</sub>, ou seja, a ET<sub>c</sub> mais uma fração de lixiviação de 0,2.

Utilizou um sistema de irrigação localizada do tipo gotejamento, onde o cabeçal de controle foi constituído por motobomba centrífuga de eixo horizontal (Schneider) com potência de 0,5 c.v., ligados por tubos de PVC rígido com 32 mm de diâmetro tanto na sucção como no recalque, filtro de discos, registros e válvula reguladora de pressão de saída. Nas linhas de derivação foram utilizados tubos de polietileno de média densidade com 25 mm de diâmetro nominal e nas linhas laterais, utilizaram-se tubos gotejadores de polietileno de baixa

densidade de 16 mm de diâmetro nominal, com vazão nominal de 4,0 L h<sup>-1</sup>, com emissores espaçados a 0,33 m.

Foram realizadas análises, quinzenalmente dos parâmetros físico-químicos das águas utilizadas na irrigação de cada tratamento os valores médios estão apresentados na Tabela 3.

O manejo da irrigação foi realizado com turno de rega médio de um dia, as lâminas de irrigação foram estimadas com base na ETc, de acordo com a Equação 1.

$$ETc = ETo \times Kc \times Kl \text{ med} \quad (\text{Eq.1})$$

Em que:

ETc - evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>

ETo - evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia<sup>-1</sup>

Kc - coeficiente de cultivo, adimensional

Klmed - coeficiente de localização médio, adimensional.

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros físico-químicos das águas utilizadas na irrigação. Ibimirim-PE, 2011.

Parâmetros	Tipos de águas			
	A <sub>1</sub> - UASB	A <sub>2</sub> - DD + FA	A <sub>3</sub> - FA	A <sub>4</sub> - água potável
pH	6,87	6,88	6,95	6,53
CE (dS m <sup>-1</sup> )	2,14	1,99	1,88	0,22
Cálcio (Ca) (mg L <sup>-1</sup> )	155,60	109,50	150,70	32,10
Magnésio (Mg) (mg L <sup>-1</sup> )	44,70	62,90	33,80	20,60
Sódio (Na) (mg L <sup>-1</sup> )	99,10	116,60	111,70	22,50
RAS <sup>(1)</sup> (mmolL <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	1,80	2,20	2,14	0,76
Nitrogênio total (N) (mg L <sup>-1</sup> )	106,90	74,32	84,30	-
Fósforo (P) (mg L <sup>-1</sup> )	10,30	8,70	9,40	0,31
Potássio (K) (mg L <sup>-1</sup> )	43,60	42,40	53,60	13,30
Cloreto (Cl) (mg L <sup>-1</sup> )	171,10	159,00	186,20	38,30
Sulfatos - (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (mg L <sup>-1</sup> )	19,80	89,60	67,70	5,19
Dureza total - CaCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	221,60	196,20	222,80	81,30
SST <sup>(2)</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	61,60	44,30	114,60	22,40
DQO <sup>(3)</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	395,50	384,60	694,90	10,80
DBO <sup>(4)</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	36,10	47,30	65,00	0,90

<sup>(1)</sup> RAS - Razão de adsorção de sódio; <sup>(2)</sup>Sólidos suspensos totais; <sup>(3)</sup>Demanda química de oxigênio; <sup>(4)</sup>Demanda bioquímica de oxigênio.

Para determinação da ETc utilizou-se os Kc recomendados para a cultura do girassol e a estimativa da ETo foi calculada pelo método de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998). A partir do 27º dia após a semeadura (DAS) as lâminas de irrigação foram diferenciadas e os tratamentos com L<sub>2</sub> passaram a receber 20% mais água que os tratamentos com L<sub>1</sub>, prolongando-se até o final do ciclo. Aos final do cultivo totalizou-se as seguintes lâminas L<sub>1</sub> = 316 mm, L<sub>2</sub> = 370 mm, ETo = 416,3 mm, ETc = 311 mm e precipitação pluviométrica de 175 mm.

A partir dos 28 DAS, foram identificadas três plantas por parcela as quais foram avaliadas semanalmente, os componentes crescimento morfológicos: diâmetro de caule (DC), altura de planta (AP), tamanho da folha (comprimento e largura) e número de folhas (NF), totalizando dez épocas de avaliação.

A área foliar (AF) foi estimada através dos dados de largura (L) e comprimento (C) da folha, pelos modelos  $AF = 0,5961 (C.L)^{1,0322} (R^2 - 0,98)$ ,  $AF = 0,7330 (C.L) (R^2 - 0,98)$ ,  $AF = 0,000052 (C.L)^2 + 0,6978 (C.L) (R^2 - 0,98)$  desenvolvidos por Maldaner et al. (2009) para a cultura do girassol, obtendo-se a média para representar cada parcela. Por meio do produto dos dados de AF pela densidade de plantas utilizadas (4 plantas m<sup>2</sup>), obteve-se o índice de área foliar (IAF) nas épocas estudadas (ZOBIOLE et al., 2010). Aos 96 DAS realizou-se a colheita, amostrando como área útil as plantas da linha central, deixando como bordadura 0,5 m em cada extremidade. Para quantificação da produção, separou os capítulos da parte aérea formado por caule e folhas, esses foram picados e determinou-se a biomassa fresca total da parte aérea (BFPA), por meio de uma amostra retirada da matéria fresca, determinou-se a matéria seca em estufa de circulação forçada a 65 °C, e estimou-se a massa seca total.

Foram determinadas as seguintes variáveis: biomassa fresca por planta (BFP), massa seca por planta (BSP), diâmetro interno do capítulo (DIC), massa de 1000 aquênios, produção de aquênio por planta (PAP), produtividade de aquênios por hectare (PROD), teor de óleo (TO) e produtividade de óleo (PO). Os valores de massa de 1000 aquênios, produção de aquênios e rendimento de óleo foram obtidos com o teor de umidade dos grãos corrigidos para 11%. Para a determinação do TO utilizou-se o método de extração Soxhlet (BEZERRA NETO e BARRETO, 2011).

Na análise dos dados de crescimento, considerou-se os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas, sendo as parcelas representadas pelos tipos de água e lâminas de irrigação, e as subparcelas formadas pelas épocas de avaliação (Tempo).

A análise dos componentes de crescimento foi realizada utilizando análise de variância e quando constatado efeito significativo da interação dos fatores, realizou-se o desdobramento ao longo do tempo, com análise de regressão, aplicando os modelos linear e quadrático, optando-se pelo que apresentou maior grau, significância e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), levando-se em consideração também a possibilidade de explicação a um fenômeno biológico. Para o desdobramento do fator épocas de avaliação para os tipos de águas, realizou-se o teste de comparação de média Scott-Knott ao nível de significância ( $p < 0,05$ ). Para os componentes de produção, após a análise de variância foram determinados os seguintes contrastes ortogonais: 1 -  $A_1$  vs  $A_2$ ; 2 -  $A_1$  vs  $A_3$ ; 3 -  $A_1$  vs  $A_4$ ; 4 -  $A_2$  vs  $A_3$ ; 5 -  $A_2$  vs ( $A_1 + A_3$ ); 6 -  $A_4$  vs ( $A_1 + A_2 + A_3$ ); 7 -  $L_1$  vs  $L_2$ . ( $p < 0,05$ ), em que as médias dos contrastes foram comparadas utilizando o Teste F ( $p < 0,05$ ), utilizando o software Sisvar versão 5.3 (FERREIRA, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Crescimento das plantas

Verificou-se efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação entre os fatores tipos de água ao longo do tempo em todas variáveis avaliadas (Tabela 4). Quanto aos fatores isolados, apenas os tipos de água apresentaram efeito significativo ( $p < 0,01$ ).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis de crescimento, diâmetro de caule (DC), altura de plantas (AP) e índice de área foliar (IAF) da cultura do girassol irrigada com efluentes domésticos. Ibimirim-PE, 2011.

Fonte de variação	GL	DC	AP	IAF
		Quadrado médio		
Bloco	3	146,17*	3947,57*	14,98 <sup>n.s.</sup>
Águas	3	524,16**	13760,56**	66,78**
Lâminas	1	125,37 <sup>n.s.</sup>	63,96 <sup>n.s.</sup>	16,25 <sup>n.s.</sup>
Águas x Lâminas	3	38,24 <sup>n.s.</sup>	392,40 <sup>n.s.</sup>	4,54 <sup>n.s.</sup>
Erro (A)	9	27,91		
Parcelas	19			
Tempo	9	698,03**	54193,26**	56,65**
Águas x Tempo	27	13,33**	286,37**	1,66**
Lâminas x Tempo	9	5,10 <sup>n.s.</sup>	40,86 <sup>n.s.</sup>	0,98 <sup>n.s.</sup>
Águas x Lâminas x Tempo	27	2,96 <sup>n.s.</sup>	26,66 <sup>n.s.</sup>	0,34 <sup>n.s.</sup>
Erro (B)	228	6,18		
Total	319			
CV (A)		35,61	32,37	83,23
CV (B)		16,75	13,07	28,31

<sup>n.s.</sup>, \*\* e \* - não significativo, significativo 1% e a 5 % de probabilidade, respectivamente.

No desdobramento da interação do fator tempo no fator tipos de águas, observou-se que aos 28 DAS não houve efeito significativo entre os tipos de água para as variáveis estudadas. Entretanto, com o passar do tempo os tratamentos irrigados com efluentes domésticos (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>) diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ) em relação aos tratamentos irrigados com água de abastecimento (A<sub>4</sub>), sendo essas diferenças constatadas para DC a partir dos 35 DAS e, para AP e IAF, a partir dos 42 DAS, perdurando até a colheita (Tabela 5). No desdobramento dos tipos de águas no tempo, foram obtidos modelos para cada tipo de água em função do tempo, os quais podem ser utilizados como uma ferramenta de predição das variáveis em estudo para o produtor, auxiliando-o para execução de tratos culturais.

Tabela 5. Aplicação do Teste de Scott-Knott para o desdobramento do tempo em cada tipo de água utilizada na irrigação para as variáveis diâmetro de caule (DC), altura das plantas e índice de área foliar, da cultura do girassol H250. Ibimirim-PE, 2011.

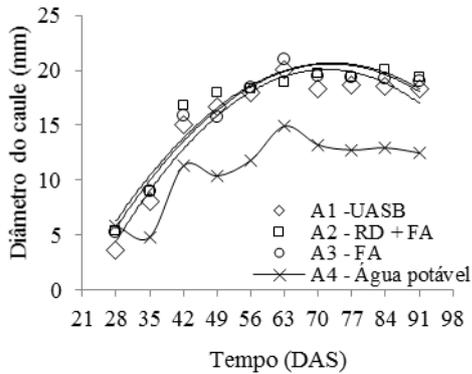
Tempo (DAS)	A <sub>1</sub> -UASB	A <sub>2</sub> - RD + FA	A <sub>3</sub> - FA	A <sub>4</sub> - água potável
	Diâmetro do caule (mm)			
28	3,60 a	5,33 a	5,19 a	5,83 a
35	8,00 a	8,99 a	8,99 a	4,82 b
42	15,03 a	16,85 a	15,87 a	11,29 b
49	16,71 a	18,02 a	15,78 a	10,39 b
56	17,93 a	18,37 a	18,42 a	11,81 b
63	20,09 a	18,88 a	20,99 a	14,92 b
70	18,37 a	19,77 a	19,54 a	13,21 b
77	18,72 a	19,34 a	19,40 a	12,75 b
84	18,51 a	20,04 a	19,26 a	12,94 b
91	18,34 a	19,34 a	19,04 a	12,47 b
Altura das plantas (cm)				
28	13,99 a	16,87 a	15,46 a	9,91 a
35	24,60 a	27,52 a	23,74 a	15,21 a
42	48,59 a	61,66 a	53,81 a	29,01 b
49	89,19 a	98,42 a	94,67 a	54,71 b
56	115,00 a	123,96 a	118,42 a	78,75 b
63	116,00 a	121,54 a	126,5 a	94,08 b
70	116,12 a	119,5 a	123,96 a	95,21 b
77	116,87 a	121,25 a	126,29 a	95,29 b
84	119,29 a	121,21 a	126,37 a	95,33 b
91	118,25 a	122,71 a	126,25 a	91,79 b
IAF				
28	0,24 a	0,32 a	0,26 a	0,07 a
35	0,82 a	0,88 a	0,72 a	0,22 a
42	1,59 a	1,91 a	2,25 a	0,71 b
49	3,67 a	3,37 a	3,27 a	1,42 b
56	3,99 a	3,76 a	3,93 a	1,69 b
63	4,08 a	3,94 a	4,31 a	1,87 b
70	4,29 a	4,47 a	4,23 a	1,60 b
77	4,04 a	4,04 a	3,75 a	1,68 b
84	4,87 a	4,76 a	4,61 a	2,06 b
91	3,56 a	3,55 a	3,41 a	1,38 b

a, b - Para cada tempo, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si

Nos tratamentos irrigados com efluentes domésticos (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>), o modelo quadrático apresentou efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para todas as variáveis analisadas. Referindo-se ao diâmetro do caule (DC), observou-se valores máximos de 20,9 mm, aos 72 DAS utilizando a água A<sub>1</sub>, enquanto com as águas A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, os DC máximos observados foram de 20,9 e 20,7 mm, respectivamente, aos 73 DAS (Figura 4A). Não foi possível obter ajuste de modelo para

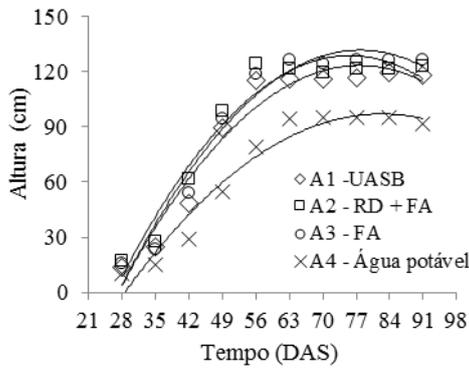
o tipo de água A<sub>4</sub>, apresentando valor médio para essa variável de 11,04 mm, bem inferior aos demais.

A



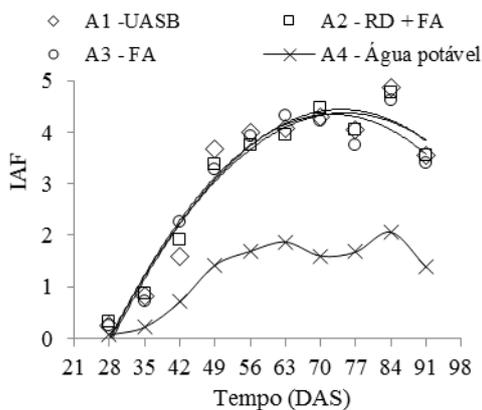
Trat.	Equações	R <sup>2</sup>
A <sub>1</sub>	$\hat{y} = -22,3126 + 1,1851^{**} \bar{x} - 0,0082^{**} \bar{x}^2$	0,95
A <sub>2</sub>	$\hat{y} = -17,3447 + 1,0426^{**} \bar{x} - 0,0071^{**} \bar{x}^2$	0,92
A <sub>3</sub>	$\hat{y} = -18,7297 + 1,0808^{**} \bar{x} - 0,0074^{**} \bar{x}^2$	0,95
A <sub>4</sub>	$y = 11,04$	

B



Trat	Equações	R <sup>2</sup>
A <sub>1</sub>	$\hat{y} = -198,5529 + 7,8805^{**} \bar{x} - 0,0482^{**} \bar{x}^2$	0,95
A <sub>2</sub>	$\hat{y} = -173,6272 + 7,9929^{**} \bar{x} - 0,0528^{**} \bar{x}^2$	0,95
A <sub>3</sub>	$\hat{y} = -179,6984 + 8,001^{**} \bar{x} - 0,0514^{**} \bar{x}^2$	0,96
A <sub>4</sub>	$\hat{y} = -130,27826 + 5,5223^{**} \bar{x} - 0,0335^{**} \bar{x}^2$	0,95

C



Trat.	Equações	R <sup>2</sup>
A <sub>1</sub>	$\hat{y} = -7,3095 + 0,3167^{**} \bar{x} - 0,0021^{**} \bar{x}^2$	0,93
A <sub>2</sub>	$\hat{y} = -6,7719 + 0,2979^{**} \bar{x} - 0,002^{**} \bar{x}^2$	0,95
A <sub>3</sub>	$\hat{y} = -7,3125 + 0,3219^{**} \bar{x} - 0,0022^{**} \bar{x}^2$	0,95
A <sub>4</sub>	$y = 1,27$	

Figura 3. Desdobramento dos tipos de águas utilizadas na irrigação ao longo do tempo nas variáveis, diâmetro do caule (A), altura de plantas (B), índice de área folia (C) da cultura do girassol irrigado com efluentes domésticos tratados. Ibimirim-PE, 2011.

A partir dos modelos gerados foi possível estimar as alturas das plantas (AP) máxima para cada tipo de água, obtendo-se para a A<sub>3</sub> 131,7 cm aos 78 DAS, seguido por A<sub>2</sub>, com 128,9 cm aos 76 DAS, e A<sub>1</sub> 123,6 cm aos 82 DAS. Desta forma, o suprimento hídrico da cultura do girassol na região semiárida com efluentes domésticos, independente do tipo de tratamento, proporcionou um aumento médio de 31% na altura das plantas (Figura 4B).

Para o índice de área foliar (IAF), observou-se que o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou quando se utilizou as águas A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>. Assim, a partir dos modelos, verificou-se que os IAF máximos variaram entre 4,3 e 4,6, no período de 73 a 75 DAS (Figura 3C) ( $p < 0,01$ ). Para água de abastecimento (A<sub>4</sub>), nenhum dos modelos testados se ajustou aos dados. Obtendo um IAF médio de 1,28, sendo este inferior ao valor médio obtido com a utilização de efluente em 58,9%. Essa diferença pode ser atribuída ao aporte de nutrientes dos efluentes que são assimilados pelas plantas.

O IAF médio obtido na área experimental foi de 2,64, estando de acordo com os obtidos por Ungaro et al. (2000), que obtiveram IAF variando de 1,83 a 3,77 e 2,39 a 3,91 com as cultivares Contisol 621 e VNIIMK, respectivamente; e ao de Zobiole et al. (2010), que observaram IAF de 3,42. Este índice é de grande importância por estar relacionado diretamente com a área fotossintética ativa da planta e quanto mais elevado melhor a interceptação e captação de luz, refletindo diretamente no aumento da fitomassa e na produção de grãos.

Para as três variáveis, após atingirem o ponto de máximo, foi verificado um decréscimo até os 91 DAS (Figura 4), que pode ser explicado pela abscisão e senescência natural das folhas, fatos normais ao aproximar-se do fim do ciclo da cultura, bem como pelo maior direcionamento dos fotoassimilados para as estruturas reprodutivas que passam a ser o dreno preferencial da planta.

### **Componentes de produção e produtividade**

Quanto às variáveis, biomassa fresca por planta (BFP) e biomassa seca por planta (BSP), observou-se que a utilização do efluente doméstico proporcionou um aumento médio de 333,6 g e 53,7 g, em relação aos tratamentos irrigados com água de abastecimento, o que representa um acréscimo de 209,02% e 167,81%, respectivamente. As maiores BFP (516,5 g) e BSP (91,5 g) foram obtidas irrigando-se com a água do tipo A<sub>2</sub>, e as menores foram observadas com a utilização do tipo de água A<sub>4</sub> (159,6 g) e (32 g), respectivamente.

Utilizando contrastes ortogonais, observou-se efeito significativo apenas para os contrastes 3 ( $A_1$  vs  $A_4$ ) e 4 ( $A_2$  vs  $A_3$ ). Não foi verificado efeito entre as lâminas de irrigação para essas variáveis (Tabela 6). Nobre et al. (2010), testando lâminas de efluentes domésticos e adubação orgânica em ambiente protegido, obtiveram BSP variando de 10,9 g a 41,55 g de acordo com a lâmina de reposição utilizada.

Para a variável diâmetro interno do capítulo (DIC), observou-se efeito significativo apenas no contraste 6 -  $A_4$  vs ( $A_1 + A_2 + A_3$ ), onde os tratamentos com efluentes apresentaram em média DIC de 14,5 cm e os tratamentos irrigados com água de abastecimento apresentaram DIC de 11,3 cm. Os maiores DIC médio, foram observados com as águas do tipo  $A_2$  (15 cm),  $A_3$  (14,9 g) e  $A_1$  (13,7 g), entre as quais não houve diferença significativa. Para a variável massa média de mil aquênios ( $M_{1000}$ ), observou-se efeito significativo nos contrastes 1, 3 e 6. Sobressaindo-se, principalmente os tratamento  $A_2$  e  $A_3$  (83,1 e 80,7g). Mesmo o tratamento  $A_1$  tendo apresentado  $M_{1000}$  inferior à obtida pelo tratamento  $A_2$ , não houve diferença significativa entre o  $A_1$  e  $A_3$ , mas houve efeito significativo entre  $A_1$  (73,8 g) e  $A_4$  (61,1 g) (contraste 3). Observou-se, também, que a utilização do efluente doméstico proporcionou um aumento médio de 18,1 g na  $M_{1000}$  o equivalente a 29,6%. Capone et al. (2011) e Priveta et al. (2012), trabalhando com a cultivar H250, observaram  $M_{1000}$  de 29,25 g e 46,86 g respectivamente. Silva et al. (2007), testando lâminas de irrigação, observaram  $M_{1000}$  de 41,15 g e Gomes et al. (2012) observaram na cultivar Aguará 4  $M_{1000}$  de 65,5 g, assim a variável  $M_{1000}$  é uma característica que depende muito das condições de manejo adotadas no cultivo, e não só da cultivar utilizada.

Os tratamentos com maiores produções de aquênios por planta (PAP) foram  $A_2$  (91,1 g) e  $A_3$  (86,6 g), os quais não diferiram estatisticamente entre si (contraste 4), seguido por  $A_1$  (69,2 g) e  $A_4$  (41,9 g). Observou-se para esta variável efeito significativo do fator lâminas de irrigação, sendo  $L_1$  - 77,4 g e  $L_2$  - 67 g (contraste 7) (Tabela 6). Nobre et al. (2010), testando em ambiente protegido, efeito da lâmina de reposição de efluentes domésticos, observaram PAP variando de 16,7 a 42,3 g. Lobo e Grassi Filho (2007) avaliaram a eficiência do lodo de esgoto como fonte de N para a cultura do girassol, em comparação à testemunha, e verificaram maior produção de aquênios de girassol, maior diâmetro do capítulo, sendo esses resultados influenciados positivamente pela utilização do lodo de esgoto.

A área apresentou uma produtividade (PROD) média de 2.888,33 kg ha<sup>-1</sup>, e quando comparada à PROD média nacional de 2012 que foi 1.800 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2014), observa-se um ganho médio de 60%. Irrigando-se com a água de abastecimento, verificou-se uma

PROD de 1.677,5 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que irrigando com efluente doméstico, a PROD média foi de 3.291,95 kg ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a uma elevação de 82,88% na PROD do girassol.

As maiores PROD foram observadas nos tratamentos A<sub>2</sub> (3.644,4 kg ha<sup>-1</sup>) e A<sub>3</sub> (3.462,2 kg ha<sup>-1</sup>), seguido em ordem decrescente por A<sub>1</sub> (2.769,2 kg ha<sup>-1</sup>) e A<sub>4</sub> (1.677,5 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 6). Observou-se diferença significativa (p<0,05) para os contrastes 1 (A<sub>1</sub> vs A<sub>2</sub>), 3 (A<sub>1</sub> vs A<sub>4</sub>), 6 (A<sub>4</sub> vs A<sub>1</sub> + A<sub>2</sub> + A<sub>3</sub>) e 7 (L<sub>1</sub> vs L<sub>2</sub>). Observou-se, também, efeito significativo para o fator lâmina de irrigação L<sub>1</sub> (3.095,9 kg ha<sup>-1</sup>) e L<sub>2</sub> (2.680,7 kg ha<sup>-1</sup>). A justificativa para L<sub>2</sub> ter apresentado menor PROD pode ser atribuído à lixiviação dos nutrientes para fora da região de absorção radicular ou ao efeito do menor potencial osmótico, nesse tratamento devido à maior quantidade de sais adicionados ao solo por L<sub>2</sub>.

Tabela 2. Teste de contraste para biomassa fresca por planta (BFP), biomassa seca por planta (BSP), massa de mil aquênios (M1000), diâmetro interno do capítulo (DIC), produção de aquênios por planta (PAP), produtividade (PROD), teor de óleo (TO) e produtividade de óleo (PO) da cultura do girassol cv. Hélio 250 irrigado com diferentes tipos de águas.

Contrastes	Trat	BFP	BSP	DIC	M <sub>(1000)</sub>	PAP	PROD	TO	PO
		g	g	cm	g	g	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>
1	A <sub>1</sub>	472,0 a	81,4 a	13,7 a	73,8 b	69,2 a	2.769,2 b	36,1 a	1.016,4 b
	A <sub>2</sub>	516,5 a	91,5 a	15,0 a	83,1 a	91,1 a	3.644,4 a	38,9 a	1.415,5 a
2	A <sub>1</sub>	472,0 a	81,4 a	13,7 a	73,8 a	69,2 a	2.769,2 a	36,1 a	1.016,4 a
	A <sub>3</sub>	491,0 a	84,1 a	14,9 a	80,7 a	86,6 a	3.462,2 a	38,2 a	1.319,3 a
3	A <sub>1</sub>	472,0 a	81,4 a	13,7 a	73,8 a	69,2 a	2.769,2 a	36,1 a	1.016,4 a
	A <sub>4</sub>	159,6 b	32,0 b	11,3 a	61,1 b	41,9 b	1.677,5 b	33,0 a	547,4 b
4	A <sub>2</sub>	516,5 a	91,5 a	15,0 a	83,1 a	91,1 a	3.644,4 a	38,9 a	1.415,5 a
	A <sub>3</sub>	491,0 a	84,1 a	14,9 a	80,7 a	86,6 a	3.462,2 a	38,2 a	1.319,3 a
5	A <sub>2</sub>	516,5 a	91,5 a	15,0 a	83,1 a	91,1 a	3.644,4 a	38,9 a	1.415,5 a
	A <sub>1</sub> + A <sub>3</sub>	481,5 a	82,7 a	14,3 a	77,3 a	77,9 a	3.115,7 a	37,2 a	1.167,9 a
6	A <sub>4</sub>	159,6 b	32,0 b	11,3 b	61,1 b	41,9 b	1.677,5 b	33,0 b	547,4 b
	A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub> + A <sub>3</sub>	493,2 a	85,7 a	14,5 a	79,2 a	82,3 a	3.291,9 a	37,8 a	1.250,4 a
7	L <sub>1</sub>	389,6 a	69,1 a	13,5 a	79,7 a	77,4 a	3.095,9 a	36,4 a	1.156,7 a
	L <sub>2</sub>	430,0 a	75,4 a	13,9 a	69,7 a	67,0 b	2.680,7 b	36,7 a	992,64 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade;

A produtividade obtida pelo tratamento A<sub>4</sub> (1.677,5 kg ha<sup>-1</sup>) mesmo sendo a menor entre os tratamentos, foi muito próxima à média nacional estimada pela Conab para o ano de 2014, que é de 1.721 kg ha<sup>-1</sup>, isso se deve em grande parte ao suprimento hídrico de maneira adequada, através da irrigação, tendo em vista que neste tratamento não foi utilizado nenhuma adubação de fundação. Oliveira et al. (2010), em estudo com a mesma cultivar, em diferentes locais na região Nordeste do Brasil, obteve produtividades variando de 1.052 a 3.425 kg ha<sup>-1</sup>.

O teor de óleo (TO) extraído dos aquênios variou de 33% (A<sub>4</sub>) a 38,9% (A<sub>2</sub>), para essa variável, observou-se diferença significativa apenas no contraste 6 (A<sub>4</sub> vs A<sub>1</sub> + A<sub>2</sub> + A<sub>3</sub>). Gomes et al. (2012), testando lâminas de irrigação com a cultivar Aguará 4, observaram TO médio de 41,5%, e Priveta (2012), testando genótipos de girassol obteve com a cultivar H250, TO de 43%. O rendimento ou produção de óleo (PO) variou de 547,4 kg (A<sub>4</sub>) a 1.415 kg (A<sub>2</sub>) e como esta variável está relacionada diretamente com a PROD e o TO, observou-se efeito significativo semelhante aos apresentados para a variável PROD.

Nos tratamentos irrigados com efluentes domésticos, a maior PO foi obtida pelo tratamento A<sub>2</sub> (1.415,5 kg ha<sup>-1</sup>), que foi estatisticamente superior (p<0,05) ao obtido pelo tratamento A<sub>1</sub> (1.016,4 kg ha<sup>-1</sup>). Observou-se diferença estatística nos contrastes 3, A<sub>1</sub> (1.016,4 kg ha<sup>-1</sup>) vs A<sub>4</sub> (547,4 kg ha<sup>-1</sup>), 6 e 7, onde L<sub>1</sub> (1.156,7 kg ha<sup>-1</sup>) e L<sub>2</sub> (992,64 kg ha<sup>-1</sup>), refletindo o efeito da PROD (Tabela 6). Gomes et al. (2012), testando lâminas de irrigação com a cultivar Aguará 4, observaram efeito linear crescente à medida que as lâminas aumentaram. Assim, a PO variou de 1850,9 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento sem irrigação a 2826,9 kg ha<sup>-1</sup> quando foi utilizado uma lâmina de 400 mm.

## CONCLUSÕES

A irrigação com efluentes domésticos tratados, por qualquer dos três métodos estudados, proporcionaram melhoria nas variáveis de crescimento e de produtividade da cultura do girassol, quando comparado à irrigação com a água de abastecimento;

Maior rendimento de óleo foi obtido com efluentes tratados por decanto digestor com filtração anaeróbia (A<sub>2</sub>) e apenas filtração anaeróbia (A<sub>3</sub>);

As variáveis relacionadas à produtividade apresentaram resultados superiores utilizando a lâmina de irrigação correspondente à evapotranspiração da cultura.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.** (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), Roma: FAO, ESA Working paper, n.12-03, 2012.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AZEVEDO, L.P.; OLIVEIRA, E.L. de. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.253-263, 2005.
- BALOTA, E.L.; MANCHINESKI, O.; TRUBER, P.V.; CERENZINI, P.; SCHERER, A. Efeito dos fungos micorrízicos arbusculares sob diferentes doses de fósforo no girassol e amendoim. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, 2010.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas.** Recife: UFRPE, Editora Universitária da UFRPE, 2011. 267 p.
- BEZERRA, B. G.; FIDELES FILHO, J. Análise de crescimento da cultura do algodoeiro irrigada com águas residuárias. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p.339-345, 2009.
- BRUINSMA, J. The Resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? In: CONFERÊNCIA DA FAO/ONU SOBRE “CÓMO ALIMENTAR AL MUNDO EN 2050”, 2009, Roma. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak969e00.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2010.
- CAPONE, A.; BARROS, H. B.; SANTOS, E.R.; SANTOS, A.F.; FERRAZ, E.C.; FIDÉLIS, R.R. Épocas de semeadura de girassol safrinha após milho, em plantio direto no cerrado tocantinense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, p.460-466, 2011.
- CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Item**, n.54, p.46-55, 2002.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 1 - Safra 2013/14, n.10 - Décimo Levantamento, Brasília, p. 1-85, jul. 2014 Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 julho. 2014.

DEON, M.D.; GOMES, T.M.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R.; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-acucar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1149-1156, 2010.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Informes da avaliação de genótipos de girassol 2004/2005 e 2005**. Londrina, 2006. 121 p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 271).

FERREIRA, D.F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

GOMES, E.P.; FEDRI, G.; ÁVILA, M.R.; BISCARO, G.A.; REZENDE, R.K.S.; JORDAN, R.A. Produtividade de grãos, óleo e massa seca de girassol sob diferentes lâminas de irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.237-246, 2012.

LOBO, T.F.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, v.7, p.16-25, 2007.

LOPES, P.V. L.; MARTINS, M. C.; TAMAI, M.A.; OLIVEIRA, A.C. B. de.; CARVALHO, C.G. P. de. **Produtividade de genótipos de girassol em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 4p. Comunicado Técnico, 208. 2009.

MALDANER, I.C.; HELDWEIN, A.B.; LOOSE, L.H.; LUCAS, D.D.P.; GUSE, F.I.; BORTOLUZZI, M.P. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**, v.39, p.1356-1361, 2009.

MENEZES, R.S. C.; OLIVEIRA, T.S. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.251-257, 2008.

- MONTE, M. H. F.; SOUSA, M. S. Effect on crop of irrigation with facultative pond effluent. **Water Science and Technology**, v.26, p.1603-1613, 1992.
- NOBRE, R.G.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L.; ANDRADE, L.O.; NASCIMENTO, E.C.S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.14, p.747-754, 2010.
- OLIVEIRA, I.R. de; CARVALHO, H.W. L. de; CARVALHO, C.G. P. de; LIRA, M.A.; FERREIRA, F.M. de B.; TABOSA, J. N.; MACEDO, J.G.G. de; FEITOSA, L.F.; RODRIGUES, C.S.; MELO, K.E. de O.; MENEZES, A.F.; SANTOS, M.L. dos. **Avaliação de cultivares de girassol em municípios dos estados da Bahia, Alagoas, Sergipe e Rio Grande do Norte: ensaios realizados no ano agrícola de 2008**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. 6 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado Técnico, 105).
- PIVETTA, L.G.; GUIMARÃES, V.F.; FIOREZE, S.L.; PIVETTA, L.A.; CASTOLDI, G. Avaliação de híbridos de girassol e relação entre parâmetros produtivos e qualitativos. **Ciência Agrônômica**, v. 43, p.561-568, 2012.
- RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: Fact or fiction? **Agricultural Water Management**, v.80, p.5-22, 2006.
- SANTOS, K.D.; HENRIQUE, I.N.; SOUSA, J.T.; LEITE, V.D. Utilização de esgoto tratado na fertirrigação agrícola. **Revista Biologia e Ciências da Terra**. Suplemento Especial, n.1/2, p.1-7, 2006.
- SAVVAS, D.; STAMATIB, E.; TSIROGIANNISB, I.L.; MANTZOSB, N.; BAROUCHASB, P.E.; KATSOUASC, N.; KITTAS, C. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems. **Agricultural Water Management**, v.91, p.102-111, 2007.
- SILVA, M.L.O.; FARIA, M.A.; MORAIS, A.R.; ANDRADE, G.P.; LIMA, E.M.C. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.482-488. 2007.
- SILVA, V. de P. **Efeitos da fertirrigação com efluente de lagoa de polimento nos atributos do solo e na produção do feijão caupi (Vigna unguiculata L. Walp)**. 2007. 128p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2007.

SOUSA, J.T. de; VAN HAANDEL, A.C.; CAVALCANTI, P.F.F.; FIGUEIREDO, A.M.F. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.10, p.260-265, 2005.

UNGARO, M.R.G. O girassol no Brasil. **O Agrônomo**, Campinas, v.34, p.43-62, 1982.

UNGARO, M. R. G.; NOGUEIRA, S. S. S.; NAGAI, V. Parâmetros fisiológicos, produção de aquênios e fitomassa de girassol em diferentes épocas de cultivo. **Bragantia**, v.59, p.205 - 211, 2000.

VASQUEZ-MONTIEL, O; HORAN, N.J.; MARA, D. D. Management of wastewater for reuse in irrigation. **Water Science and Technology**, v.33, p.355-362,1996.

ZOBIOLE, L.H.S.; CASTRO, C.D.; OLIVEIRA, F.A. de; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; MOREIRA, A. Curva de crescimento, estado nutricional, teor de óleo e produtividade do girassol híbrido BRS 191 cultivado no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.14, p.55-62, 2010.

### **CAPÍTULO III**

---

#### **ESTADO NUTRICIONAL DO GIRASSOL IRRIGADO COM EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS NA REGIÃO SEMIÁRIDA**

## ESTADO NUTRIÇÃO DO GIRASSOL IRRIGADO COM EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS NA REGIÃO SEMIÁRIDA

### RESUMO

As águas residuárias domésticas apresentam em sua composição macro e micronutrientes que podem ser aproveitados pelas plantas, esse conteúdo apresenta-se de forma contínua, podendo ser variável de acordo com o processo de tratamento utilizado. Objetivou-se com este trabalho avaliar o estado nutricional da cultura do girassol irrigado com efluentes domésticos tratados e submetido à aplicação de duas lâminas de irrigação. Os tratamentos foram formados pela utilização de dois fatores, sendo o primeiro, tipos de água (A<sub>1</sub> - residuária tratada por reator anaeróbio UASB, A<sub>2</sub> - residuária tratada por decanto digestor e filtragem anaeróbia, A<sub>3</sub> - residuárias tratada por filtragem anaeróbia, e A<sub>4</sub> - água de abastecimento) e o segundo fator foi formado por lâminas de irrigação (L<sub>1</sub> - ETc e L<sub>2</sub> - 1,2 ETc). Foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições. As parcelas foram formadas por três linhas de plantas de 6 m, considerando como área útil a linha central excluindo-se 0,5 m em cada extremidade. Ao final do ciclo, foram coletadas as plantas e determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S e Na da parte aérea, capítulos e aquênios. Obteve-se a relação dos nutrientes mais extraídos pela cultura, como também foram determinados pelo DRIS os nutrientes mais deficientes, para os tratamentos irrigados com água de abastecimento. A irrigação com efluentes domésticos tratados, proporcionou melhor balanço nutricional na cultura do girassol. Para uma produtividade média de aquênios de 3.291 kg ha<sup>-1</sup>, observou-se a seguinte ordem e quantidade de nutrientes extraídos (em kg ha<sup>-1</sup>): K (331) > N (209) > Ca (130) > P (74) = Mg (72) > S (41); Houve maior extração de nutrientes pela cultura do girassol, quando foi irrigado com as águas do tipo A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>; os nutrientes mais deficientes e que limitaram a produtividade das áreas irrigadas com água de abastecimento, em relação às áreas irrigadas com efluentes domésticos, foram: P, S e Mg.

**Palavras-chave** - *Helianthus annuus* L., nutrientes, reuso de água.

## NUTRITIONAL STATUS OF THE SUNFLOWER IRRIGATED WITH DOMESTIC EFFLUENT TREATED IN SEMIARID PERNAMBUCANO

### ABSTRACT

The domestic wastewaters have the macro and micronutrient composition which can be availed by plants, that content presents itself continuously and may be variable depending upon the treatment used. The aim of this study was to evaluate the nutritional status of irrigated sunflower with effluents produced by different kinds of treatment of wastewater and two irrigation levels. The treatments consisted of the use of two factors, the first being water types (A<sub>1</sub> - wastewater treated by anaerobic the UASB reactor, A<sub>2</sub> - decant wastewater treated by anaerobic digester and filtering, A<sub>3</sub> - wastewater treated by anaerobic filter, and A<sub>4</sub> - supply water) and the second factor was formed by irrigation levels (L<sub>1</sub> - ETc and L<sub>2</sub> - 1.2 ETc). The experimental design was randomized blocks, factorial 4 x 2 with four replications. The plots were formed by three rows of 6 m, considering as useful area the center line, excluding 0.5 m at each end. At the end of the cultivation, the plants were collected and determined the nutritional composition of the aerial part, capitulum and achenes. The relationship of most nutrients extracted by the sunflower, as were also determined by DRIS poorest nutrients for treatments irrigated with water supply. The use of domestic wastewater treated in irrigation provided better nutritional balance in the sunflower; for an average yield 3.291 kg ha<sup>-1</sup> of achenes, obtained the following order and nutrient extraction (in kg ha<sup>-1</sup>): K (331) > N (209) > Ca (130) > P (74 ) = Mg (72) > S (41); there was a higher nutrient extraction by sunflower crop when it was irrigated with the waters of type A<sub>2</sub> and A<sub>3</sub>; the most deficient nutrients and that limited the yield of irrigated areas with water supply in relation to areas irrigated with domestic wastewater were: P, S and Mg.

**Keywords** – *Helianthus annuus* L., nutrients, wastewater.

## INTRODUÇÃO

Um elemento é considerado essencial, quando satisfaz dois critérios de essencialidade, o direto, participando de algum composto ou de alguma reação no metabolismo da planta, sem o qual ou a qual a planta não completar o ciclo de vida; e o indireto, onde na ausência do elemento, as plantas não conseguem completar o ciclo de vida; ou ainda quando a função do elemento não pode ser substituído completamente por nenhum outro elemento, e na ausência deste, a planta não completa o ciclo de vida (MALAVOLTA et al., 1997). Assim, os nutrientes são classificados em função dos aspectos quantitativos, de acordo com a concentração relativa no tecido, em macro e micronutrientes (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

A recomendação da adubação mineral é definida pela capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo, das exigências nutricionais da cultura e eficiência de absorção dos nutrientes, como também pelo rendimento esperado (PAPADOPOULOS, 1999). Para a obtenção de produtividades superiores a 3.000 kg ha<sup>-1</sup>, a cultura do girassol (híbrido BRS 191) extrai aproximadamente 150, 24, 286, 116, 42 e 24 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente (ZOBIOLE et al., 2010).

Em regiões semiáridas, o déficit hídrico impacta no rendimento das culturas agrícolas, nessas regiões, a irrigação com os esgotos domésticos tratados é uma alternativa para suprir a demanda hídrica e também, a exigência nutricional das plantas, melhorando os rendimentos dos cultivos dos pequenos agricultores.

Pereira et al. (2011), estudaram a composição iônica de águas residuárias doméstica tratadas e concluíram que mais de 66% da concentração total de macro e micronutrientes estão sob a forma prontamente disponível para absorção pelas plantas como: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (99%), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (98%), H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (91%), H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (99%), Cl<sup>-</sup> (99%), Zn<sup>2+</sup> (66%); sendo assim, a irrigação com efluentes apresenta grande potencial, sobretudo, para o desenvolvimento agrícola. Segundo Hespanhol (2008), as concentrações típicas de nitrogênio (N) e de fósforo (P) nos efluentes de sistemas convencionais de tratamento são de 15 e 3 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, o que corresponde a uma aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> de N e 60 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P, quando se utiliza uma lâmina média 2000 mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, eliminando a necessidade de utilização de fertilizantes comerciais.

Para fins de produção agrícola, é recomendável que o tratamento do efluente seja feito até o nível secundário, pois mesmo com a significativa redução do teor de matéria orgânica,

existirá ainda grande quantidade de macro e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas agrícolas (SILVA et al., 2012).

Algumas ferramentas são utilizadas para verificar o estado nutricional das culturas, como a avaliação de sintomas de deficiências visual e análises de nutrientes nos tecidos vegetais. Nesse sentido, a avaliação do estado nutricional das plantas é uma prática útil para o diagnóstico de deficiência, principalmente, quando acontece a “fome oculta”, onde a planta pode estar deficiente em determinado nutriente e não apresentar sintomas visuais, sendo o resultado refletido na diminuição da produtividade.

Outra maneira de avaliação do estado nutricional da cultura consiste na utilização do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), preconizado por Beaufils (1973). Este método baseia-se na premissa entre o suprimento de nutrientes pelo solo e os seus teores na planta e que aumentos ou decréscimos nas concentrações dos nutrientes se relacionam com produções mais altas ou mais baixas, respectivamente (BALDOCK & SCHULTE, 1996), e que áreas com alta produtividade estão em equilíbrio nutricional.

A primeira pressuposição para usar o DRIS é que as relações entre dois nutrientes são melhores indicadoras do desequilíbrio nutricional que o uso isolado da concentração do nutriente (JONES, 1981). Usando-se as relações, minimiza-se o efeito de concentração e de diluição (WALWORTH & SUMNER, 1987). A utilização de relações entre nutrientes torna a interpretação menos dependente de variações de amostragem (BEVERLY et al., 1986), especialmente, no que se refere à idade fisiológica da planta, à origem do tecido e à variedade (SUMNER, 1977).

O cálculo dos índices DRIS depende, inicialmente, do estabelecimento de valores-padrão ou normas de referência. Para isto, é necessário selecionar uma população de alta produtividade (população de referência), partindo-se da premissa que existe relação significativa entre o suprimento de nutrientes e seus teores na planta, de modo que aumentos ou decréscimos em suas concentrações proporcionam variação na produção (NACHTIGALL & DECHEN, 2010). Quanto menor for o índice, se negativo, mais limitante por deficiência estará o nutriente, e quanto maior for o índice, se positivo, mais excessivo estará o nutriente. O índice de valor zero indica que o nutriente está nas melhores condições de balanço nutricional (WALWORTH & SUMNER, 1987).

A diagnose do estado nutricional efetuada de forma criteriosa possibilita a manutenção do equilíbrio e a racionalidade das adubações com sustentabilidade da atividade agrícola, (KURIHARA et al., 2005). Segundo Maia (2012), para amostragem ideal de plantas

herbáceas, estas devem apresentar folhas recém-maduras completamente desenvolvidas. Entretanto, Fontes (2001) afirma que para a comparação de parâmetros, a amostragem das folhas da planta a ser analisada, deve ser coletada com a mesma idade fisiológica na qual foram retiradas e determinadas as concentrações críticas das plantas padrões.

Para Baldock & Schulte (1996), as principais vantagens do DRIS são: facilidade de interpretação devido a continuidade da escala, ordena os nutrientes em importância de limitação, pode identificar casos em que a produção é limitada por desequilíbrio nutricional e provém de uma avaliação do efeito combinado entre o teor do nutriente e a produtividade.

Friedman et al. (2007) testaram uma solução nutritiva com 30-5-30 ppm de NPK, aplicando de acordo com a necessidade da cultura do girassol, enquanto a concentração do efluente foi de 40-10-40 de NPK, e observaram quanto ao acúmulo de nutrientes nas folhas, um aumento significativo nos teores de B (35%), P (9%), e redução do teor de Fe (40%) devido à utilização do efluente secundário. Damasceno et al. (2011) avaliaram a composição nutricional em flores de gérbera irrigada com águas residuárias com diversas diluições e concluíram que não houve efeito significativo quanto à composição mineral nas folhas de gérberas, decorrente da irrigação com águas residuárias tratadas contendo ou não suplementação mineral.

Portanto, cada tipo de tratamento de esgoto proporciona a obtenção de efluentes com características singulares e estas podem ocasionar variadas relações nutricionais na cultura. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar o estado nutricional da cultura do girassol irrigado com efluentes domésticos tratados e submetido à aplicação de duas lâminas de irrigação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi desenvolvido na Unidade Piloto de Reuso Hidroagrícola da UFRPE, localizada no município de Ibimirim, cujas coordenadas geográficas são 8°32'05" S, 37°41'58" W e altitude de 408 m, a 333 km de Recife (Figura 1). A classificação climática local segundo Köppen é do tipo BSw'h', semiárido muito quente, com precipitação pluviométrica média anual é de 454,0 mm e temperatura média anual em torno de 24,7 °C. Durante a condução do experimento a temperatura média foi de 26,9 °C e precipitação pluviométrica acumulada de 175,2 mm.

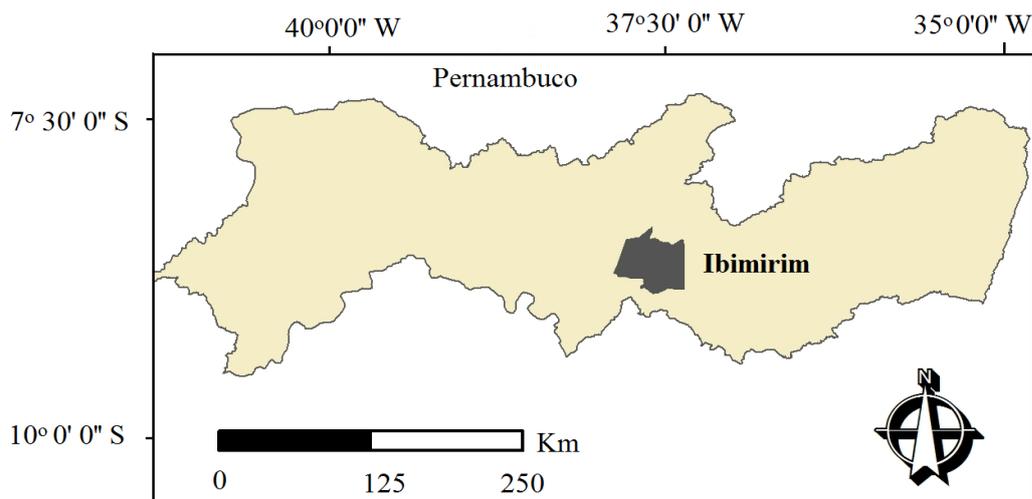


Figura 1. Localização de Ibirimir em Pernambuco.

Para determinação da fertilidade inicial do solo foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1. O solo pode ser considerado de fertilidade alta ( $V\% = 61,9$ ), média capacidade de troca catiônica a pH 7,0 e não possui limitação quanto a toxicidade por alumínio ( $m\% = 0$ ) e apresenta baixo teor de matéria orgânica. (RIBEIRO et al., 1999).

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental. Ibirimir -PE, 2010.

Camada (m)	pH <sub>H2O</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	H + Al	CTC	PST	V	P (mg kg <sup>-1</sup> )	COT (g kg <sup>-1</sup> )	MO
		(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )						(%)					
0 - 0,2	7,1	2,39	2,30	0,26	0,36	5,31	2,90	8,21	4,38	64,8	71,41	2,97	5,1
0,2 - 0,4	7,0	1,88	2,20	0,25	0,38	4,71	3,26	7,97	4,77	61,4	42,34	1,65	2,84

Carbono orgânico total; MO - Matéria orgânica. SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca de cátions; PST - Porcentagem de sódio trocável; V - Saturação por bases; COT- carbono orgânico total.

O sistema de esgotamento condominial atende a 500 habitações, apresentando uma vazão média de esgotos “in natura” de aproximadamente 450.000 L dia<sup>-1</sup>, a unidade piloto de reusohidro-agrícola capta o esgoto, em seguida ele passa pelos sistema de tratamento preliminar, composto por grade de barras, caixa de areia e calha Parshall. Após esta etapa, o esgoto bruto segue para um poço úmido e estação elevatória de onde é bombeado para os sistemas de tratamento primários e secundário.

O tratamento de esgoto foi composto pelos seguintes processos: tratamento A<sub>1</sub> - reator anaeróbio de manta de lodo de fluxo ascendente do tipo UASB-híbrido, confeccionado em fibra de vidro (Figura 2); tratamento A<sub>2</sub> - formado pela junção de um decanto digestor

associado a um filtro anaeróbio (Figura 3); tratamento A<sub>3</sub> - utilizou-se apenas um filtro anaeróbio, semelhante ao utilizado no tratamento A<sub>2</sub>.

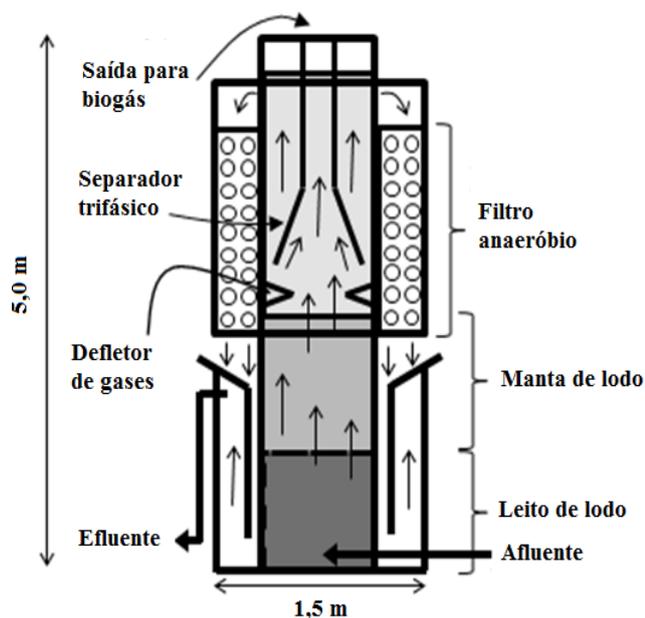


Figura 2. Esquema de funcionamento do reator UASB-híbrido. Fonte: Silva (2010).

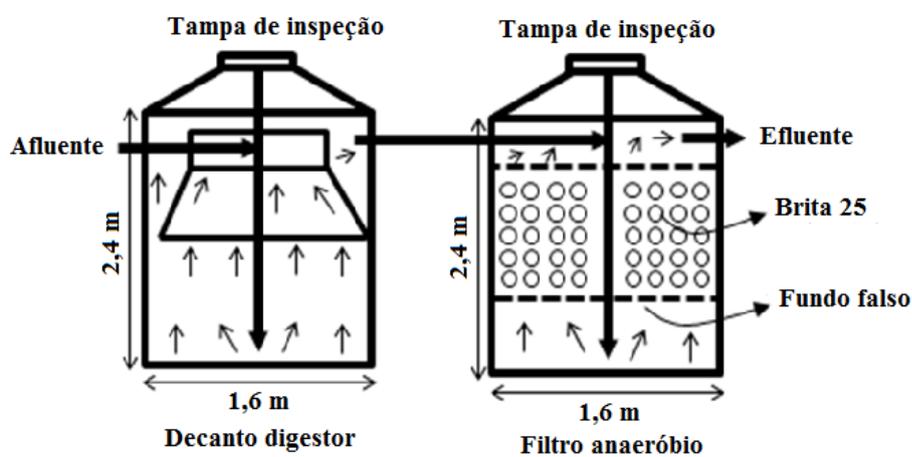


Figura 3. Esquema de instalação e funcionamento decanto digestor associado a um filtro anaeróbio. Fonte: Silva (2010).

O experimento consistiu da irrigação via gotejamento da cultura do girassol com quatro tipos de águas e duas lâminas de irrigação. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições, sendo o primeiro fator formado por tipos de água de irrigação, A<sub>1</sub> - água residuária tratada por reator anaeróbio UASB, A<sub>2</sub> - água residuária tratada por decanto digestor e filtração anaeróbia, A<sub>3</sub> - água residuária tratada por filtração anaeróbia e A<sub>4</sub> - água de abastecimento; o segundo fator foi

formado por lâminas de irrigação: L<sub>1</sub> - lâmina igual à evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>); e L<sub>2</sub> - lâmina igual a 1,2 ET<sub>c</sub>, ou seja, uma fração de lixiviação de 0,2.

A parcela foi composta por três linhas de plantas de 6 m de comprimento, considerando-se como área útil a linha central, excluindo-se 0,5 m nas extremidades como bordadura. A semeadura foi realizada de forma manual aos 5 de novembro de 2010, em espaçamento de 0,25 x 1,0 m entre plantas e linhas respectivamente, utilizando-se a cultivar Helio 250 (H250), treze dias após a semeadura (DAS) procedeu-se o desbaste deixando uma planta por cova, para uma densidade de plantio de 40.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

O preparo do solo foi realizado por meio de revolvimento nas linhas de plantio a uma profundidade de 0,15 m. Foram realizadas análises quinzenalmente, dos parâmetros físico-químicos das águas utilizadas na irrigação de cada tratamento conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), cujos valores médios dos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros físico-químicos das águas utilizadas na irrigação. Ibimirim-PE, 2011.

Parâmetros	Tipos de águas			
	A <sub>1</sub> - UASB	A <sub>2</sub> - DD + FA	A <sub>3</sub> - FA	A <sub>4</sub> - água potável
pH	6,87	6,88	6,95	6,53
CE (dS m <sup>-1</sup> )	2,14	1,99	1,88	0,22
Cálcio (Ca) (mg L <sup>-1</sup> )	155,60	109,50	150,70	32,10
Magnésio (Mg) (mg L <sup>-1</sup> )	44,70	62,90	33,80	20,60
Sódio (Na) (mg L <sup>-1</sup> )	99,10	116,60	111,70	22,50
RAS <sup>(R)</sup> (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	1,80	1,55	2,13	0,75
Nitrogênio total (N) (mg L <sup>-1</sup> )	106,90	74,32	84,30	-
Fósforo (P) (mg L <sup>-1</sup> )	10,30	8,70	9,40	0,31
Potássio (K) (mg L <sup>-1</sup> )	43,60	42,40	53,60	13,30
Cloreto (Cl) (mg L <sup>-1</sup> )	171,10	159,00	186,20	38,30
Sulfatos - (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (mg L <sup>-1</sup> )	19,80	89,60	67,70	5,19
Dureza total - CaCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	221,60	196,20	222,80	81,30
SST <sup>(S)</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	61,60	44,30	114,60	22,40
DQO <sup>(Q)</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	395,50	384,60	694,90	10,80
DBO <sup>(B)</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	36,10	47,30	65,00	0,90

<sup>(R)</sup>RAS - Razão de adsorção de sódio; <sup>(S)</sup>Sólidos suspensos totais; <sup>(Q)</sup>Demanda química de oxigênio; <sup>(B)</sup>Demanda bioquímica de oxigênio.

Foi utilizado um sistema de irrigação por gotejamento, onde as linhas laterais foram constituídas por tubos gotejadores de polietileno de 16 mm de diâmetro nominal, com emissores de vazão nominal de 4,0 L h<sup>-1</sup> espaçados a cada 0,33 m. O manejo da irrigação foi realizado com turno de rega médio de um dia, onde as lâminas de irrigação foram estimadas a partir da ETc (Equação 1), utilizando evapotranspiração de referencia (ETo) estimada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), e os coeficientes de cultivo (Kc) recomendados pelo FAO 56.

$$ETc = ETo \times Kc \times KL_{med} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

ETc - evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>

ETo - evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia<sup>-1</sup>

Kc - coeficiente de cultivo, adimensional

KL<sub>med</sub> - coeficiente de localização médio, adimensional

Os valores de Kc utilizados na estimativa da ETc encontram-se na Tabela 3. Os valores de Kc foram corrigidos para as condições climáticas do local do experimento, considerando os valores médios de temperatura e umidade relativa, conforme metodologia apresentada por Allen et al. (1998).

Tabela 3. Fases fenológicas, duração e coeficientes de cultivo (Kc) do girassol.

Fase	Descrição	Duração (dias) <sup>(1)</sup>	Kc <sup>(1)</sup>
I	Germinação, crescimento vegetativo	0 - 25	0,30
II	Floração	26 - 55	0,7 - 0,93
III	Frutificação	56 - 89	1,15
IV	Maturação e colheita	90 - 95	1,00

(1) Adaptado de Allen et al. (1998), Boletim 56 FAO.

O coeficiente de localização (KL) foi determinado de acordo com a determinação da projeção da área sombreada (S) da planta ao meio dia, ao longo do desenvolvimento das plantas, conforme Equações 2, 3, 4, e 5, utilizando-se a média dos valores obtidos.

$$KL = 1,34 \times S \quad (\text{ALJIBURY et al., 1974}) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$KL = 0,1 + S \quad (\text{DECROIX, 1978}) \quad (\text{Eq. 3})$$

$$KL = S + 0,5 \times (1 - S) \quad (\text{HOARE et al., 1974}) \quad (\text{Eq. 4})$$

$$KL = S + 0,15 \times (1-S) \text{ (KELLER, 1978)} \quad (\text{Eq. 5})$$

Na Tabela 4 estão apresentadas as quantidades médias de nutrientes aplicados juntamente com as lâminas de irrigação, para cada tipo de água utilizada.

Tabela 4. Aporte de nutrientes aplicados ao solo via irrigação por gotejamento nos tratamentos. Ibimirim-PE, 2011.

Elemento	A <sub>1</sub> L <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> L <sub>1</sub>	A <sub>3</sub> L <sub>1</sub>	A <sub>4</sub> L <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> L <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> L <sub>2</sub>	A <sub>3</sub> L <sub>2</sub>	A <sub>4</sub> L <sub>2</sub>
	kg ha <sup>-1</sup>							
Nitrogênio-total	337,27	234,48	265,97	0,00	395,74	275,13	312,08	0,00
Fósforo-total	32,50	27,45	29,66	0,98	38,13	32,21	34,80	1,15
Potássio	137,56	133,77	169,11	41,96	161,41	156,96	198,43	49,24
Cálcio	490,92	345,47	475,46	101,28	576,03	405,37	557,89	118,83
Magnésio	141,03	198,45	106,64	64,99	165,48	232,86	125,13	76,26
Sódio	312,66	367,87	352,41	70,99	366,87	431,65	413,51	83,30
Cloretos	539,82	501,65	587,46	120,84	633,41	588,62	689,31	141,79
Enxofre	20,77	93,99	71,01	5,44	24,37	110,29	83,33	6,39

Aos 96 DAS, realizou-se a colheita, onde as plantas foram cortadas rente ao solo e fracionada em caules com folhas, e capítulos com aquênios, foram acondicionados em sacos de papel e colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C, obtendo as seguintes variáveis: biomassa seca da parte aérea (BPA) formada por caule e folhas; biomassa seca dos capítulos (BSCap) e biomassa seca dos aquênios (BSA).

As amostras foram trituradas em moinho tipo Willey e acondicionadas em recipientes fechados. Para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Na e S foram realizadas digestões nitro-perclórica. Os teores de P, foram determinados pelo método colorimétrico do vanadato-molibdato por espectrofotometria; o S, foi obtido por turbidimetria; para K e Na utilizou-se a técnica de fotometria de chama e para determinação do Ca e Mg, foi utilizado o método de espectrofotometria de absorção atômica. Para determinação do teor de N, utilizou a digestão sulfúrica, seguido por destilação com arrasto de vapores (Método Kjeldahl), conforme Bezerra Neto & Barreto (2011). A partir dos dados de BPA, BSCap, BSA e dos teores dos elementos na parte aérea, capítulo e aquênios, e da densidade de plantas por hectare, foram calculadas a exigência nutricional da cultura.

Os dados foram avaliados, mediante análise de variância pelo teste ‘F’ ( $p < 0,05$ ), havendo significância aplicou-se o teste de contrastes. Para o desdobramento das interações dos fatores foi utilizado o teste de médias de Skott-Knott. Foram utilizados os seguintes contrastes ortogonais: 1 -  $A_1$  vs  $A_2$ ; 2 -  $A_1$  vs  $A_3$ ; 3 -  $A_1$  vs  $A_4$ ; 4 -  $A_2$  vs  $A_3$ ; 5 -  $A_2$  vs ( $A_1 + A_3$ ); 6 -  $A_4$  vs ( $A_1 + A_2 + A_3$ ); 7 -  $L_1$  vs  $L_2$ . ( $p < 0,05$ ), em que as médias dos contrastes foram comparadas utilizando o Teste ‘F’ ( $p < 0,05$ ). Para o total de nutrientes extraídos pela cultura, aplicou-se o teste de média de ‘Skott-Knott’, utilizando-se do software estatístico SISVAR-ESAL (FERREIRA, 2008).

Para determinação e ordenação dos nutrientes mais deficientes, utilizou-se o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (BEAUFILS, 1973), calculou-se o índice de cada elemento, para as partes da planta (parte aérea, capítulo e aquênios) dos tratamentos irrigados com água de abastecimento ( $A_4L_1$  e  $A_4L_2$ ), considerando-se como referência o conjunto de parcelas com produtividades médias de  $3.290 \text{ kg ha}^{-1}$ , em seguida determinou-se o Índice de Balanço Nutricional (IBN), que resulta do somatório, em módulo, dos valores dos índices DRIS de cada nutriente, indicando o estado nutricional da planta. Para interpretação observa-se o valor da soma, quanto menor, menor é o desequilíbrio entre os nutrientes e portanto, maior será a produtividade da cultura (WALWORTH & SUMNER, 1987).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Teor de nutrientes**

De forma geral, observou-se a seguinte ordem para a concentração total dos nutrientes na planta  $K > N > Ca > P = Mg > S$ . Quanto ao teor de nutrientes nos órgãos avaliados, observou-se a seguinte distribuição preferencial: o Ca e Mg acumularam-se preferencialmente na parte aérea com 54,85% e 47,83% respectivamente; o capítulo foi o principal órgão drenado para o K (52,40%) e S (48,28%), e os aquênios foram os órgãos preferenciais para P (65,25%) e N (47,42%). Portanto, observa-se, que mesmo com a grande demanda de K pela cultura do girassol, a exportação desse nutriente pelos aquênios é baixa, o que permite que o K acumulado nos outros órgãos, seja reaproveitado pelo cultivos posteriores, através da incorporação dos restos culturais ao solo. As concentrações médias dos nutrientes e a porcentagem por parte da planta, parte aérea, capítulo e aquênios, podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5. Teor de nutrientes e partição de assimilados no girassol. Ibimirim 2011.

Parte da planta	K		N		Ca		P		Mg		S		Na	
	g kg <sup>-1</sup>	%												
Parte aérea	55,69	40,19	18,92	25,17	22,48	54,85	3,02	12,22	11,56	47,83	6,61	41,16	1,48	46,89
Capítulo	72,61	52,40	20,62	27,42	4,72	11,51	5,57	22,53	6,09	25,20	7,75	48,28	1,16	36,95
Aquênios	10,26	7,41	35,66	47,42	13,78	33,64	16,15	65,25	6,52	26,97	1,70	10,56	0,51	16,16
Total	138,56		75,20		40,98		24,74		24,16		16,06		3,15	

% - porcentagem do nutriente por parte da planta

Observou-se efeito significativo do fator isolado tipos de água para todos os nutrientes analisados, com exceção do sódio. Houve interação entre os fatores tipos de água e lâminas de irrigação para os nutrientes P e S (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para teores de nutrientes na parte aérea do girassol H250 irrigado com efluentes domésticos. Ibimirim-PE, 2011.

Fonte de variação	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
		Quadrado médio						
Bloco	3	8,778 <sup>n.s.</sup>	1,09 <sup>n.s.</sup>	491,83 <sup>n.s.</sup>	43,61 <sup>n.s.</sup>	1,45 <sup>n.s.</sup>	5,99 <sup>**</sup>	1,14 <sup>n.s.</sup>
Águas (A)	3	114,43 <sup>**</sup>	5,24 <sup>**</sup>	1288,34 <sup>**</sup>	154,43 <sup>**</sup>	26,97 <sup>**</sup>	33,74 <sup>**</sup>	1,84 <sup>n.s.</sup>
Lâminas (L)	1	0,84 <sup>n.s.</sup>	0,42 <sup>n.s.</sup>	6,94 <sup>n.s.</sup>	4,19 <sup>n.s.</sup>	1,36 <sup>n.s.</sup>	0,89 <sup>n.s.</sup>	0,66 <sup>n.s.</sup>
A x L	3	23,12 <sup>n.s.</sup>	2,14 <sup>**</sup>	88,8 <sup>n.s.</sup>	95,09 <sup>n.s.</sup>	5,86 <sup>n.s.</sup>	3,77 <sup>*</sup>	0,82 <sup>n.s.</sup>
Erro	21	14,23	0,36	196,15	31,15	3,76	1,14	1,04
Total	31							
C.V. %		19,93	19,97	25,15	24,83	16,79	16,15	69,08

<sup>n.s.</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> - não significativo, significativo 1% e a 5 % de probabilidade, respectivamente.

Utilizando os contrastes ortogonais (Tabela 7), observou-se que a água do tipo A<sub>2</sub> proporcionou maior teor médio de N (24,31 g kg<sup>-1</sup>), diferindo significativamente do A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub>, e A<sub>4</sub>, sendo inclusive, superior em 37,97% em relação à média de A<sub>1</sub> e A<sub>3</sub> (contraste 5). Não foi constatado efeito significativo para N entre os tratamentos A<sub>1</sub> e A<sub>3</sub>, A<sub>1</sub> e A<sub>4</sub>. Segundo Castro & Oliveira (2005), a faixa adequada de N na folha diagnóstico do girassol se situa entre 35-50 g kg<sup>-1</sup>, neste experimento foi verificada uma variação de 16,2 a 24,3 g kg<sup>-1</sup> de N. Essa menor concentração de N ao final do ciclo, é justificada pela grande mobilidade do N, ter se transferido para os órgãos de propagação, sementes. Como, também, devido a senescência, grande parte da folhagem do material vegetal já ter caído, devido à fase da senescência. Outra justificava plausível, acontece por ter sido triturados juntos, caule, folha e pecíolo.

Para os teores de K, Ca, Mg e S, não se observou efeito entre os tratamentos irrigados com efluentes, havendo efeito significativo apenas quando estes foram comparados em relação ao tratamento com água de abastecimento (contrastos 3 e 6) (Tabela 7). Com relação aos nutrientes na parte aérea, observou-se por ocasião da colheita, teores de N entre 16,2 e

24,3 g kg<sup>-1</sup>, juntamente com uma produtividade média de aquênios variando entre 1.677,5 kg ha<sup>-1</sup> e 3.644,4 kg ha<sup>-1</sup>. Em estudo com marcha de absorção com o híbrido BRS-191, Zobiole et al. (2010) observaram aos 98 DAE, teores de N nas folhas de 15,5 g kg<sup>-1</sup> associados a uma produtividade de aquênios de 3.344 kg ha<sup>-1</sup>. Enquanto Aquino et al. (2013), trabalhando com folha diagnóstico, à época do florescimento pleno com diversas cultivares, obtiveram teor de N na folha variando de 37,40 a 44,71 g kg<sup>-1</sup> para produtividades de 2.888 e 4.631 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabela 7. Teste de contraste para teor de nutrientes na parte aérea do girassol cv H250 irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.

Contrastes	Trat.	N	P	K	Ca	Mg	S
1	A <sub>1</sub>	18,81 b	2,91 b	57,77 a	23,70 a	12,38 a	7,07 a
	A <sub>2</sub>	24,31 a	3,62 a	63,25 a	23,21 a	12,63 a	7,99 a
2	A <sub>1</sub>	18,81 a	2,91 b	57,77 a	23,70 a	12,38 a	7,07 a
	A <sub>3</sub>	16,42 a	3,63 a	64,55 a	26,69 a	12,41 a	7,80 a
3	A <sub>1</sub>	18,81 a	2,91 a	57,77 a	23,70 a	12,38 a	7,07 a
	A <sub>4</sub>	16,15 a	1,92 b	37,17 b	16,30 b	8,81 b	3,59 b
4	A <sub>2</sub>	24,31 a	3,62 a	63,25 a	23,21 a	12,63 a	7,99 a
	A <sub>3</sub>	16,42 b	3,63 a	64,55 a	26,69 a	12,41 a	7,80 a
5	A <sub>2</sub>	24,31 a	3,62 a	63,25 a	23,21 a	12,63 a	7,99 a
	A <sub>1</sub> + A <sub>3</sub>	17,62 b	3,27 a	61,17 a	25,19 a	12,40 a	7,43 a
6	A <sub>4</sub>	16,15 b	1,92 b	37,17 b	16,30 b	8,81 b	3,59 b
	A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub> + A <sub>3</sub>	19,85 a	3,39 a	61,86 a	24,53 a	12,47 a	7,62 a

Comparação dos tratamentos nos contrastes, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para o P, houve efeito da interação entre os tipos de água e as lâminas de irrigação ao nível de 1% de probabilidade, desta forma, utilizando a lâmina L<sub>1</sub>, verificou-se menor teor quando foi irrigado com a água de abastecimento (A<sub>4</sub>) (1,09 g kg<sup>-1</sup>) e maior com água do tipo A<sub>3</sub> (4,01 g kg<sup>-1</sup>) (Figura 4A). Para a lâmina L<sub>2</sub>, não houve diferença na concentração de P entre os tipos de águas utilizadas. Entretanto, quando foi irrigado com água de abastecimento (A<sub>4</sub>), houve maior concentração de P utilizando a lâmina L<sub>2</sub> (Figura 4A). Deibert & Utter (1989) registraram valores entre 2,2 e 5,2 g kg<sup>-1</sup> de P como sendo adequados para folhas de girassol no início de florescimento. Castro & Oliveira (2005) consideram o nível crítico de P na folha suficiente ou médio entre 2,9 e 4,5 g kg<sup>-1</sup>.

Na Figura 4B, são apresentados os efeitos dos tipos de águas e das lâminas de irrigação na concentração de S. Para a lâmina L<sub>1</sub>, a maior concentração deste nutriente foi observada

com as águas do tipo A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, seguida pelos teores obtidos nos tratamentos A<sub>1</sub> e A<sub>4</sub>. Já com a lâmina L<sub>2</sub> observou-se que houve diferença significativa apenas entre o tratamento irrigado com água de abastecimento (A<sub>4</sub>) em relação aos demais. Observou-se diferença significativa para o teor de S na parte aérea do girassol, entre as lâminas de irrigação apenas quando se fez uso da água A<sub>3</sub>, onde observou-se maior concentração de S com a lâmina L<sub>1</sub> (Figura 4B).

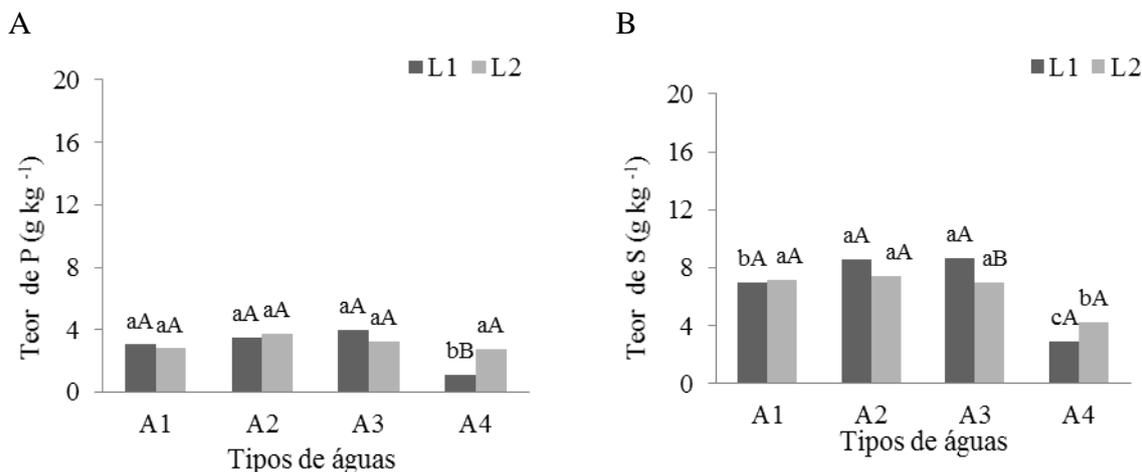


Figura 4. Teor de P (A) e S (B) na parte aérea do girassol irrigado com diferentes tipos de água e lâminas de irrigação, Ibimirim- PE, 2011. Classes de médias: letras minúsculas compara-se tipos de águas dentro das lâminas; letras maiúsculas compara-se lâminas em cada tipo de água).

Segundo Zobiolo et al. (2010), o teor adequado de K é de 54,8 g kg<sup>-1</sup>. Nesse estudo quando foi irrigado com efluentes, observou-se teores de K entre 57,7 e 64,5 g kg<sup>-1</sup> e para o tratamento irrigado com água de abastecimento observou-se valor médio de 37,7 g kg<sup>-1</sup> constatando-se a eficiência dos efluentes no suprimento deste nutriente.

A concentração de N nos capítulos variou de 19,36 a 22,15 g kg<sup>-1</sup> de massa seca. Este nutriente apresentou a segunda maior concentração nesta parte da planta, sendo superado apenas pelo teor de K que apresentou média de 72,61 g kg<sup>-1</sup>. Zobiolo et al. (2010) trabalhando com o híbrido BRS 191, encontraram teores médios no capítulo de 11,9; 1,9 e 39,4 g kg<sup>-1</sup> de NPK, respectivamente, em amostras coletadas aos 98 dias após a emergência.

Na Tabela 8, observa-se o resumo da análise de variância em função dos tipos de águas e lâminas de irrigação para a concentração dos nutrientes no capítulo do girassol, na qual constata-se efeito significativo (p<0,01) do fator tipos de água nas variáveis, fósforo (P), cálcio (Ca) e enxofre (S).

Para o teor de P observou-se efeito significativo apenas nos contrastes 3 (A<sub>1</sub> vs A<sub>4</sub>) e 6 (A<sub>4</sub> vs A<sub>1</sub> + A<sub>2</sub> + A<sub>3</sub>), onde observou-se que a utilização de efluentes domésticos proporcionou

um aumento médio na concentração de P de 99,7% em relação à utilização da água de abastecimento.

Tabela 8. Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes no capítulo do girassol cv. H250 irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.

Fontes de variação	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
		Quadrado médio						
Bloco	3	56,07 <sup>n.s.</sup>	2,78 <sup>n.s.</sup>	108,53 <sup>n.s.</sup>	5,10 <sup>n.s.</sup>	0,35 <sup>n.s.</sup>	1,89 <sup>n.s.</sup>	1,14 <sup>n.s.</sup>
Águas (A)	3	13,06 <sup>n.s.</sup>	23,92 <sup>**</sup>	237,81 <sup>n.s.</sup>	8,95 <sup>**</sup>	1,24 <sup>n.s.</sup>	25,24 <sup>**</sup>	1,84 <sup>n.s.</sup>
Lâminas (L)	1	20,70 <sup>n.s.</sup>	1,42 <sup>n.s.</sup>	388,95 <sup>n.s.</sup>	0,73 <sup>n.s.</sup>	1,11 <sup>n.s.</sup>	0,07 <sup>n.s.</sup>	0,66 <sup>n.s.</sup>
A x L	3	63,31 <sup>n.s.</sup>	1,52 <sup>n.s.</sup>	87,82 <sup>n.s.</sup>	0,71 <sup>n.s.</sup>	0,86 <sup>n.s.</sup>	1,07 <sup>n.s.</sup>	0,82 <sup>n.s.</sup>
Erro	21	39,8	2,33	133,41	1,13	0,87	1,05	1,04
Total	31							
CV (%)		30,6	27,38	15,91	22,49	15,29	13,21	69,08

<sup>n.s.</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> - respectivamente, não significativo, significativo 1% e a 5% de probabilidade.

Para o cálcio (Ca), o tratamento A<sub>1</sub> apresentou teores médios mais elevados (6,01 g kg<sup>-1</sup>). Por outro lado, o tratamento A<sub>2</sub> apresentou menores teores (3,43 g kg<sup>-1</sup>). O baixo teor observado no tratamento A<sub>2</sub>, pode ser consequência, do efeito de diluição decorrente da elevada massa seca deste tratamento.

Quanto ao S, observou-se efeito significativo em todos os contrastes, exceto o contraste 2 (A<sub>1</sub> vs A<sub>3</sub>), dessa forma, observou-se que o tratamento A<sub>2</sub> apresentou maior teor (9,38 g kg<sup>-1</sup>), seguido pelos tipos de águas A<sub>3</sub> e A<sub>1</sub> (8,20 g kg<sup>-1</sup>), e A<sub>4</sub> (5,22 g kg<sup>-1</sup>), respectivamente.

Tabela 9. Teste de contraste para teor de nutrientes no capítulo do girassol cv. H250 irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011

Contrastes	Tratamento	P	Ca g kg <sup>-1</sup>	S
1	A <sub>1</sub>	5,42 a	6,01 a	8,14 b
	A <sub>2</sub>	6,87 a	3,43 b	9,38 a
2	A <sub>1</sub>	5,42 a	6,01 a	8,14 a
	A <sub>3</sub>	6,82 a	4,85 b	8,27 a
3	A <sub>1</sub>	5,42 a	6,01 a	8,14 a
	A <sub>4</sub>	3,18 b	4,58 b	5,22 b
4	A <sub>2</sub>	6,87 a	3,43 b	9,38 a
	A <sub>3</sub>	6,82 a	4,85 a	8,27 b
5	A <sub>2</sub>	6,87 a	3,43 b	9,38 a
	A <sub>1</sub> + A <sub>3</sub>	6,12 a	5,43 a	8,21 b
6	A <sub>4</sub>	3,19 b	4,58 a	5,22 b
	A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub> + A <sub>3</sub>	6,37 a	4,76 a	8,60 a

Comparação dos tratamentos nos contrastes, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade;

Em média, os nutrientes encontrados em maiores concentrações nos aquênios foram N (35,66 g kg<sup>-1</sup>), P (16,15 g kg<sup>-1</sup>) e Ca (13,78 g kg<sup>-1</sup>). Na Tabela 10, está apresentado o resumo da análise de variância, na qual observa-se efeito significativo do fator tipos de água para os elementos P, K e Mg (p<0,01), e Ca (p<0,05), e como também da interação entre tipos de águas e lâminas de irrigação para as variáveis K (p<0,05) e S. (p<0,01).

Para o teor de P nos aquênios, observou-se em média maiores valores no tratamento A<sub>2</sub> (18,27 g kg<sup>-1</sup>), sendo este superior aos tratamentos A<sub>3</sub> (15,62 g kg<sup>-1</sup>) e A<sub>4</sub> (13,78 g kg<sup>-1</sup>) (p<0,05). Para o teor de K, observou-se no tratamento A<sub>1</sub> maior valor médio (11,06 g kg<sup>-1</sup>), este nutriente apresentou baixa variabilidade entre os tratamentos, mesmo assim, verificou-se efeito significativo em todos os contrastes que o A<sub>4</sub> esteve presente, como também no contraste 2 (A<sub>1</sub> vs A<sub>3</sub>). Para o fator lâminas de irrigação, também foi verificado efeito significativo para o K, onde se observou com a L<sub>2</sub> um aumento de 9,6% em relação a L<sub>1</sub>.

Tabela 10. Resumo da análise de variância para os teores de nutrientes nos aquênios cv H250 irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.

Fonte d variação	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
		Quadrado médio						
Bloco	3	10,74 <sup>n.s.</sup>	1,59 <sup>n.s.</sup>	1,00 <sup>n.s.</sup>	15,96 <sup>n.s.</sup>	0,44 <sup>n.s.</sup>	0,16 <sup>n.s.</sup>	0,0001 <sup>n.s.</sup>
Águas (A)	3	36,33 <sup>n.s.</sup>	29,25 <sup>**</sup>	3,05 <sup>**</sup>	91,63 <sup>*</sup>	6,01 <sup>**</sup>	0,87 <sup>n.s.</sup>	0,002 <sup>n.s.</sup>
Lâminas (L)	1	0,30 <sup>n.s.</sup>	0,40 <sup>n.s.</sup>	7,07 <sup>**</sup>	60,95 <sup>n.s.</sup>	0,06 <sup>n.s.</sup>	1,24 <sup>n.s.</sup>	0,000009 <sup>n.s.</sup>
A x L	3	5,13 <sup>n.s.</sup>	2,09 <sup>n.s.</sup>	2,40 <sup>*</sup>	7,29 <sup>n.s.</sup>	2,69 <sup>n.s.</sup>	3,11 <sup>**</sup>	0,0011 <sup>n.s.</sup>
Erro	21	24,87	2,74	0,56	23,26	1,16	0,43	0,0029
Total	31							
CV		13,99	10,26	7,32	34,99	16,55	38,68	10,67

<sup>n.s.</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> - respectivamente, não significativo, significativo 1% e a 5 % de probabilidade.

Através da aplicação de contrastes ortogonais observou-se para o P, efeito significativo entre os contrastes 4, 5 e 6. O aumento no teor de P em todas as partes da planta irrigada com efluentes, indica que a concentração de P nos efluentes é suficiente para atender a demanda da cultura, possibilitando obter altos rendimentos. Quanto ao S, observou-se maiores concentrações irrigando-se com a água de abastecimento (A<sub>4</sub>), havendo efeito significativo no contraste 3 (Tabela 11).

Tabela 11. Teste de contraste para teor de nutrientes nos aquênios do girassol cv Hélio 250 irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.

Contrastes	Trat.	P	K	Ca g kg <sup>-1</sup>	Mg	S
1	A <sub>1</sub>	16,92 a	11,06 a	10,23 a	6,57 a	1,22 a
	A <sub>2</sub>	18,27 a	10,30 a	11,68 a	7,07 a	1,74 a
2	A <sub>1</sub>	16,92 a	11,06 a	10,23 b	6,57 a	1,22 a
	A <sub>3</sub>	15,62 a	10,13 b	15,80 a	7,15 a	1,85 a
3	A <sub>1</sub>	16,92 a	11,06 a	10,23 b	6,57 a	1,22 b
	A <sub>4</sub>	13,78 b	9,56 b	17,43 a	5,27 b	1,97 a
4	A <sub>2</sub>	18,27 a	10,30 a	11,68 a	7,07 a	1,74 a
	A <sub>3</sub>	15,62 b	10,13 a	15,80 a	7,15 a	1,85 a
5	A <sub>2</sub>	18,27 a	10,30 a	11,68 a	7,07 a	1,74 a
	A <sub>1</sub> + A <sub>3</sub>	16,27 b	10,60 a	13,01 a	6,86 a	1,53 a
6	A <sub>4</sub>	13,78 b	9,56 b	17,43 a	5,27 b	1,97 a
	A <sub>1</sub> + A <sub>2</sub> + A <sub>3</sub>	16,93 a	10,50 a	12,57 b	6,93 a	1,60 a

Comparação dos tratamentos nos contrastes, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Na Figura 5, são apresentados os efeitos da interação dos fatores lâminas de irrigação e tipos de águas nas variáveis K e S. Para o teor de K observou-se diferença significativa entre os tipos de águas apenas quando foi irrigado com a lâmina L<sub>2</sub>, onde o tratamento A<sub>1</sub> sobressaiu.

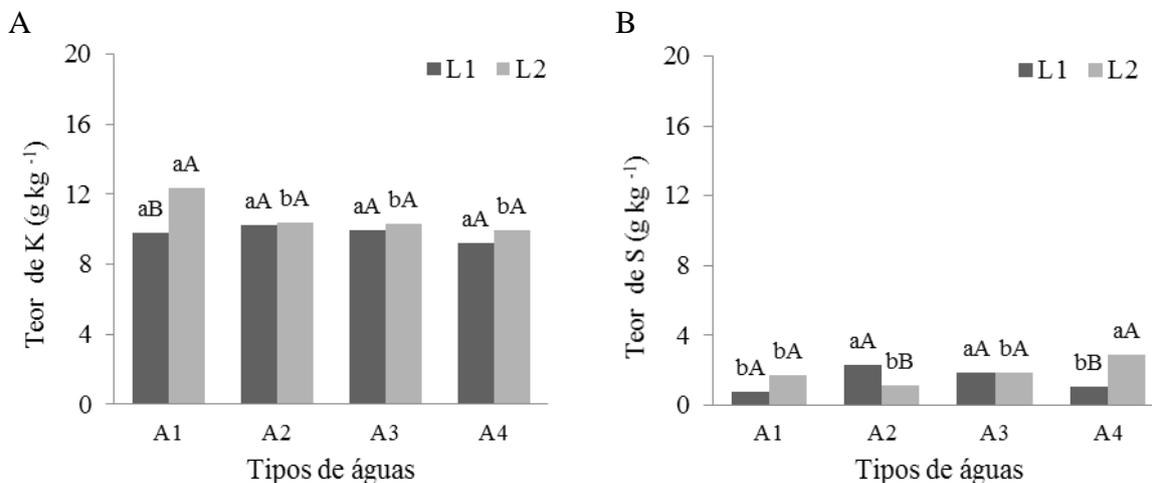


Figura 5. Teor médio de K (A) e S (B) nos aquênios de girassol, em função de tipos de águas e lâminas de irrigação, Ibimirim-PE, 2011. Classes de médias (letras minúsculas compara-se entre os tipos de águas dentro das lâminas; letras maiúsculas compara-se as lâminas em cada tipo de água).

Quando se desdobrou as lâminas em cada tipo de água, observou-se efeito significativo, apenas na água do tipo A<sub>1</sub>, onde foi observado maior teor de K nos aquênios, utilizando a lâmina L<sub>2</sub> (Figura 5A). Para o S, quando foi utilizado a lâmina L<sub>1</sub>, observou-se maiores

concentrações utilizando-se as águas dos tipos A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>. Enquanto que, com a lâmina L<sub>2</sub>, observou-se maior concentração de S utilizando a água do tipo A<sub>4</sub>. Observou-se também, diferença significativa entre as lâminas de irrigação quando se utilizou as águas do tipo A<sub>2</sub> e A<sub>4</sub>, onde A<sub>2</sub> apresentou teores mais elevados utilizando L<sub>1</sub> e A<sub>4</sub> apresentou teores mais elevados utilizando L<sub>2</sub> (Figura 5B).

### Extração de nutrientes

Na Figura 6, observa-se a extração dos nutrientes por ocasião da colheita distribuídos nas diferentes partes da planta, parte aérea (caule e folhas), capítulo e aquênios. O nutriente exigido em maior quantidade foi o K, sendo este acumulado, principalmente na parte aérea. O que permite a reciclagem deste nutriente, já que a exportação pelos aquênios deste nutriente é baixa (ZOBIOLE et al., 2010).

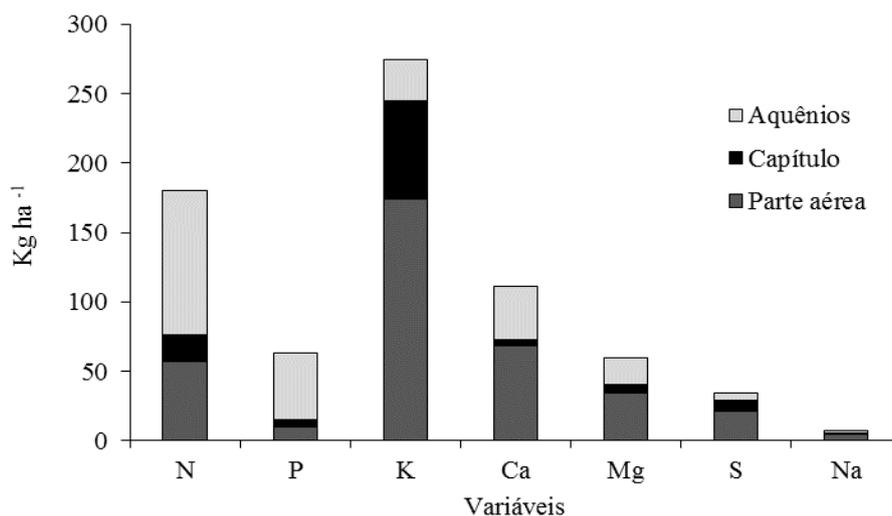


Figura 6. Média dos nutrientes extraídos pelo girassol cv. H250, nas diferentes partes da planta e total acumulado, Ibimirim-PE, 2011.

O N foi o segundo nutriente mais extraído pela cultura do girassol, sendo os aquênios os principais órgãos de acúmulo. O terceiro nutriente mais extraído pelo girassol foi o cálcio (Ca), sendo armazenado, principalmente, nos tecidos da parte aérea. Estudos experimentais apontam que doses entre 40 a 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, obtém-se 90% da produção relativa máxima (BISCARO et al., 2008), outros indicam que a produção máxima do girassol é obtida com doses entre 80 a 90 kg ha<sup>-1</sup> de N (ZAGONEL & MUNDSTOCK 1991; SMIDERLE et al., 2002; SMIDERLE et al., 2004; CASTRO et al., 2004). Com relação à quantidade média de nutrientes extraídos por ocasião da colheita, observou-se para o K valores médios de 104 a

361 kg ha<sup>-1</sup> e para N entre 94 e 247 kg ha<sup>-1</sup>, associado a produtividades médias de aquênios variando de 1.677,5 kg ha<sup>-1</sup> a 3.644,4 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Observou-se a seguinte ordem de extração de nutrientes para a cultura do girassol K>N>Ca>P=Mg>S (Figura 6). Castro e Oliveira (2005) constataram que a quantidade total extraída de macronutrientes na parte aérea para uma produção de 3.176 kg de aquênios ha<sup>-1</sup> foi de 130 kg ha<sup>-1</sup> de N, 25 kg ha<sup>-1</sup> de P e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K, o que difere do trabalho atual.

Por meio, da análise de variância para nutrientes totais extraídos pela cultura do girassol, verificou-se efeito significativo para o fator tipos de água em todas as variáveis analisadas, como também efeito significativo (P<0,01) da interação dos fatores tipos de águas e lâminas de irrigação para o nutriente S (Tabela 12).

Tabela 12. Resumo da análise de variância para acúmulo de nutrientes extraídos pela cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio						
		N	P	K	Ca	Mg	S	Na
Bloco	3	3,62*	0,43**	28,56**	2,05*	0,54**	0,39**	0,004 <sup>n.s.</sup>
Águas (A)	3	21,58**	3,34**	69,04**	9,39**	3,29**	1,28**	0,051**
Lâminas (L)	1	1,49 <sup>n.s.</sup>	0,19 <sup>n.s.</sup>	0,37 <sup>n.s.</sup>	0,12 <sup>n.s.</sup>	0,025 <sup>n.s.</sup>	0,016 <sup>n.s.</sup>	0,003 <sup>n.s.</sup>
A x L	3	0,55 <sup>n.s.</sup>	0,06 <sup>n.s.</sup>	4,21 <sup>n.s.</sup>	0,82 <sup>n.s.</sup>	0,09 <sup>n.s.</sup>	0,157*	0,003 <sup>n.s.</sup>
Erro		0,854	0,07	2,89	0,46	0,06	0,044	0,005
Total	31							
CV		20,55	17,12	24,81	24,49	16,83	24,74	41,42

<sup>n.s.</sup>, \*\* e \* - respectivamente, não significativo, significativo 1% e a 5 % de probabilidade.

Através do teste de médias observou-se efeito significativo para as quantidades de nutrientes extraídos em função dos tipos de águas, onde os tratamentos irrigados com efluentes (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>) apresentaram maiores valores que os irrigados com água de abastecimento (A<sub>4</sub>) (Tabela 13). Em média os tratamentos com efluentes doméstico extraíram uma quantidade de nutrientes superior de 2,2 a 3,2 vezes a obtida pelo tratamento A<sub>4</sub> justificando dessa forma, o ganho de produtividade observado por esses tratamentos.

Tabela 13. Teste de médias para total de nutrientes acumulados na cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de águas. Ibimirim-PE, 2011.

Tratamentos	kg ha <sup>-1</sup>						
	N	P	K	Ca	Mg	Na	
A <sub>1</sub>	169,06 b	60,79 c	288,05 a	108,21 b	63,11 b	6,44 b	
A <sub>2</sub>	247,06 a	88,02 a	361,32 a	130,36 b	79,25 a	10,44 a	
A <sub>3</sub>	209,85 a	74,02 b	343,36 a	152,82 a	74,08 a	7,82 b	
A <sub>4</sub>	93,73 c	27,75 d	104,32 b	51,82 c	22,65 c	2,76 c	

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Skott- Knott a 5%; considerando uma população de 40.000 plantas ha<sup>-1</sup>

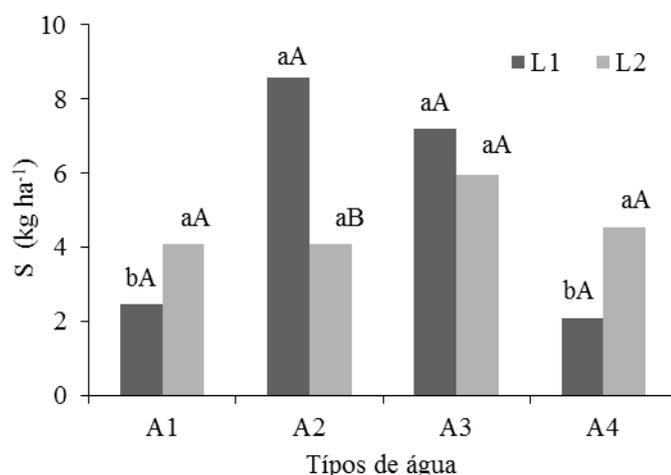


Figura 7. Desdobramento da interação dos fatores tipos de água e lâminas de irrigação para acúmulo de S extraído pela cultura do girassol, separados por classes de médias (letras minúsculas compara-se entre os tipos de águas dentro das lâminas; letras maiúsculas compara-se as lâminas em cada tipo de água).

A utilização da lâmina L<sub>1</sub> proporcionou maior acúmulo de S quando foi irrigado com as águas do tipo A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, enquanto que quando foi utilizado a lâmina L<sub>2</sub> não foi observado diferença para extração de S entre os tipos de águas utilizados. Quando se irrigou com a água do tipo A<sub>2</sub> observou-se maiores valores de S com a utilização da lâmina L<sub>1</sub> ( $p < 0,05$ ) para os demais tipos de águas não houve diferença em se irrigar com L<sub>1</sub> ou L<sub>2</sub> (Figura 7).

### **Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Índice de Balanço nutricional (IBN)**

Com o cálculo dos índices DRIS, é possível ordenar todos os nutrientes analisados, em cada uma das amostras, do mais deficiente ao mais excessivo. Os índices DRIS e IBN calculados para as parcelas irrigadas com água de abastecimento encontram-se na Tabela 14. A partir deles, observou-se com a utilização da lâmina L<sub>1</sub> que os nutrientes mais deficientes para a parte aérea e capítulo foram P e S, e nos aquênios foram P e Mg. Enquanto que utilizando a lâmina L<sub>2</sub> os nutrientes deficientes na parte aérea foram S e Mg, no capítulo foram P e S e nos aquênios foram Mg e P. Assim, de forma geral, utilizando-se apenas a irrigação com água de abastecimento observou-se uma deficiência nutricional principalmente de P, S, Mg.

Observa-se portanto, a importância da utilização de efluentes domésticos tratados em atender a necessidade nutricional da cultura.

Por meio do IBN observou-se que a utilização da lâmina L<sub>2</sub> proporcionou menos desequilíbrio nutricional na parte aérea e capítulo, enquanto que nos aquênios foi observado menor desequilíbrio com a lâmina L<sub>1</sub> mesmo essa diferença sendo muito pequena.

Tabela 14. Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Índice de Balanço nutricional (IBN) para parcelas irrigadas com água de abastecimento (A<sub>4</sub>).

Tratamento	Índices							IBN
	DRIS							
	Parte aérea							
	P	S	K	Ca	Na	Mg	N	
A4L1	-33,13	-24,10	-0,31	3,91	6,28	15,33	32,03	115,08
A4L2	6,40	-16,77	-0,91	1,30	-1,40	-1,54	12,91	41,22
	Capítulo							
	P	S	Ca	K	N	Mg	Na	
A4L1	-28,41	-18,54	5,02	8,65	9,64	10,87	12,77	93,91
A4L2	-14,66	-11,80	-3,98	-2,56	6,56	8,92	17,52	66,01
	Aquênios							
	P	Mg	S	K	Na	N	Ca	
A4L1	-9,96	-7,66	-4,18	-1,91	3,59	4,29	15,84	47,42
A4L2	-8,33	-16,28	-2,77	0,42	0,42	8,14	20,11	56,48

## CONCLUSÕES

O estado nutricional do girassol foi influenciado pelo tipo de água de irrigação, apresentando melhor equilíbrio nutricional quando foi irrigado com efluentes domésticos tratados;

A cultura do girassol quando irrigada com efluentes domésticos apresentou a seguinte ordem de extração de macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) K(331) > N(209) > Ca(130) > P(74) = Mg(72) > S(41), para a produtividade média de aquênios de 3291 kg ha<sup>-1</sup>;

Houve maior extração de nutrientes pela cultura do girassol, quando foi irrigado com as águas do tipo A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, que corresponde aos tratamentos decanto digestor associado à filtração anaeróbia e apenas filtração anaeróbia;

Os nutrientes que mais limitaram a produtividade das áreas irrigadas com água de abastecimento, em relação às áreas irrigadas com efluentes domésticos, foram: P, S e Mg.

## REFERÊNCIAS

ALJIBURY, F.K.; MARSH, A.W.; HUNTAMER, J. **Water use with drip irrigation**. In: International Drip Irrigation Congress Proceedings 2: California, USA, p.341-345. 1974.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water & wastewater**. 21th. ed. New York: APHA. 2005.

AQUINO, L.A.; SILVA, F.D.B.; SILVA, BERGER, P.G. Características agronômicas e o estado nutricional de cultivares de girassol irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, p.551-557, 2013.

BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**. v.88, p.448-456, 1996.

BEAUFILS, E.R. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). **A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition**. Pietermeritzburg, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, 1).

BEVERLY, R.B.; SUMNER, M.E.; LETZSCH, W.S.; PLANK, C.O. Foliar diagnosis os soybean by DRIS. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**. v.17, p.237-256. 1986.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: UFRPE, Editora Universitária da UFRPE, 2011. 267p.

BISCARO, G.A.; MACHADO, J.R.; TOSTA, M.S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R.P.; CARVALHO, L.A. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1366-1373, 2008.

CASTRO, C. de; LANTMANN, A.F.; SFREDO, G.J.; BORKET, C.M.; SILVEIRA, J.M. In: **Resultados de pesquisa da EMBRAPA Soja**, 2003: girassol. Londrina, Embrapa Soja, 2004. p.19-27. (Embrapa Soja. Documentos 242).

CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A. Nutrição e adubação do girassol. In: LEITE, R.M.V.B. de C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005, p.317-374.

DAMASCENO, L.M.O.; ANDRADE JÚNIOR, A.S., GHEYI, H.R., DIAS, N.S.; SILVA, C.O. Composição nutricional foliar da gérbera irrigada com efluente doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v.24, p.121-128, 2011.

DECROIX, M. **Conception et calcul d'un projet de micro-irrigation a la parcell**. Bari. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Mediterraneennes, Institut de Bari, 1978.

DEIBERT, E.J.; UTTER, R.A. Sunflower growth and nutrient uptake: Response to tillage system, hybrid maturity and weed control method. **Soil Science Society American Journal**, v.53, p.133-138, 1989.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FONTES, P.C.R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 122p.

FRIEDMAN, H.N.; BERNSTEIN, M.; BRUNER, I.; ROT, Z.; BEN-NOON, A.; ZURIEL, R.; ZURIEL, S.; FINKELSTEIN, N.; UMIEL; HAGILANDI, A. Application of secondary-treated effluents for cultivation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and celosia (*Celosia argentea* L.) as cut flowers. **Scientia Horticulturae**, v.115, p.62-69, 2007.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v.22, p.131-158, 2008.

HOARE, E.R.; GARZOLI, K.V.; BLACKWELL, J. **Plant water requirements as related to trickle irrigation.** In: International Drip Irrigation Congress Proceedings 2. California, USA, 1974. p.323-328.

JONES, W.W. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.12, p.785-794, 1981.

KELLER, J. **Trickle irrigation.** In Soil Conservation Service National Engineering Handbook. Colorado, 1978. 129p.

KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; ALVAREZ V., V.H. **Interpretação de resultados de análise foliar.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 42 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 74).

MAIA, C.E. Época de amostragem foliar para diagnóstico nutricional em bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v36, p.859-864. 2012.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas.** Princípios e aplicações. 2 (ed.) Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319p.

NACHTIGALL, G.R.; DECHEN, A.R. DRIS como método diagnóstico de nutrição mineral de plantas. In: PRADO, R.M.; CECÍLIO FILHO, A.B.; CORREIA, M.A.R.; PUGA, A.P. (ed) **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças.** Jaboticabal: FCAV, FAPESP, 2010, p.185-198.

PAPADOPOULOS, I. **Fertirrigação:** situação atual e perspectivas para o futuro. In:\_\_\_\_\_. FOLEGATTI, M. V. (Coord.) **Fertirrigação:** citrus, flores, hortaliças. Guaíba Agropecuária, 1999. 460p.

PEREIRA, B.F.F.; HE, Z.L.; SILVA, M.S.; HERPIN, U.; NOGUEIRA, S.F.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Reclaimed wastewater: Impact on soil-plant system under tropical conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v.192, p.54-61, 2011.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

SILVA, M.M.; MEDEIROS, P.R.F.; SILVA, E.F.F.; In: GHEYI, H.R.; PAZ, V.P.S.; MEDEIROS, S.S.; GALVÃO, C.O. (eds). **Recursos hídricos em regiões semiáridas**, Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, 2012, p.156-169.

SMIDERLE, O.J.; GIANLUPPI, D.; GIANLUPPI, V. **Adubação nitrogenada, espaçamento e época de semeadura de girassol nos Cerrados de Roraima**. In: EMBRAPA. Resultados de pesquisa da Embrapa Soja-2001: Girassol e trigo. Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.33-39. Documentos, 218.

SMIDERLE, O.J.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GIANLUPPI, D.; CASTRO C. **Adubação nitrogenada do girassol nos Cerrados de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2004. 7p. (Embrapa Roraima. Comunicado Técnico, 8).

SUMNER, M.E. Preliminary N, P, K foliar diagnostic norms for soybeans. **Agronomy Journal**, v.69, p.226-230. 1977.

WALWORTH, J.L. SUMNER, M.E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Advances in Soil Science**, v.6, p.149-188, 1987.

ZAGONEL, J.; MUNDSTOCK, C.M. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em duas cultivares de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.1487-1492, 1991.

ZOBIOLE, L.H.S.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.425-433, 2010.

## **CAPÍTULO IV**

---

### **ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO COM GIRASSOL IRRIGADO COM EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS**

# ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO COM GIRASSOL IRRIGADO COM EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS

## RESUMO

A utilização de efluentes domésticos tratados na irrigação, desponta como uma alternativa para a agricultura em regiões semiáridas. Entretanto, tais efluentes apresentam algumas características que podem alterar as propriedades químicas do solo. Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos da aplicação de efluentes domésticos tratados nas características químicas e teor de matéria orgânica do solo cultivado com girassol. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 2, utilizando-se quatro tipos de águas: A<sub>1</sub> - residuária tratada por reator anaeróbio UASB, A<sub>2</sub> - residuária tratada com decanto digestor e filtragem anaeróbia, A<sub>3</sub> - residuária tratada por filtragem anaeróbia, e A<sub>4</sub> - água de abastecimento; e duas lâminas de irrigação: L<sub>1</sub> = ETc e L<sub>2</sub> = 1,2 ETc. Para avaliação do efeito da utilização dessas águas no solo, foram coletadas amostras simples de solo nas camadas de 0 - 0,20; 0,20 - 0,40; 0,40 - 0,60 m, aos 77 e 98 dias após a semeadura, determinando-se os seguintes atributos: cátions trocáveis (Ca, Mg, K, Na) e porcentagem de sódio trocável (PST). A partir do extrato de saturação do solo, foram determinados: condutividade elétrica (CE), pH, e teores de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup> e calculou-se a razão de adsorção de sódio (RAS); como também os teores de P disponível e carbono orgânico total (COT) do solo. A utilização de efluentes elevou os teores de P, Mg e K trocáveis, como também manteve os teores de COT do solo; entre os tipos de águas, a água do tipo A<sub>1</sub>, obtida a partir do tratamento pelo reator UASB, proporcionou menores valores de Na<sup>+</sup> trocável, PST, como também menores concentrações de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> solúveis e salinidade do solo (CEes); a irrigação com efluentes domésticos proporcionou elevação dos teores de Na no solo refletindo diretamente na RAS e PST do solo; observou-se efeito da lâmina de irrigação nos teores de K e Na trocáveis; a irrigação com efluentes domésticos proporcionou uma tendência de aumento dos teores solúveis de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, principalmente na camada de 0-0,20 m refletindo diretamente na salinidade do solo (CEes).

**Palavras-chave:** esgoto doméstico, reuso de água, salinidade do solo.

## **CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL CULTIVATED WITH SUNFLOWER IRRIGATED WITH DOMESTIC WASTEWATER**

### **ABSTRACT**

The use of treated domestic sewage in irrigation stands out as a positive factor for agriculture in semi-arid regions. However, such effluents have some characteristics that may alter the chemical properties of the soil. The objective of this study was to evaluate the effects of the application of treated domestic sewage on the chemical characteristics and organic matter content of the soil cultivated with sunflower. The experimental design was a randomized block with four replications. The treatments were arranged in a 4 x 2 factorial scheme, using four types of water: A<sub>1</sub> - wastewater treated by anaerobic UASB, A<sub>2</sub> - treated wastewater and anaerobic digester decant filtering, A<sub>3</sub> - wastewater treated by anaerobic filter, and A<sub>4</sub> - supply water; and two irrigation levels: L<sub>1</sub> = ETc and L<sub>2</sub> = 1.2 ETc. To evaluate the effect of the use of these waters on the soil, soil samples were collected in the layers 0 - 0.20; 0.20 - 0.40; 0.40 - 0.60 m at 77 and 98 days after seeding, determining the following attributes: exchangeable cations (Ca, Mg, K, Na) and exchangeable sodium percentage (ESP). By means of the saturation extract of soil were determined: electrical conductivity (EC), pH, and concentrations of K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and Na<sup>+</sup> and calculated the sodium adsorption ratio (SAR); as well as the P and total organic carbon (TOC) of the soil. The use of effluent resulted increases in the levels of P available, exchangeable Mg and K, as well in the maintenance of soil TOC of the soil; the use of the UASB reactor, between treatment for domestic wastewater, provided smaller levels of exchangeable Na and PST, as well as lower levels of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> soluble and EC soil; the irrigation with domestic effluent resulted elevated levels of Na<sup>+</sup> in the soil reflecting directly into PST and RAS of the soil; observed effect of irrigation depth for contents exchangeable K and Na; The irrigation with wastewater domestic resulted a trend of increase in soluble Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, especially in the 0-0.20 m depth, reflecting directly on EC soil.

**Keywords** - domestic wastewater, water reuse, soil salinity.

## INTRODUÇÃO

Na região semiárida do Nordeste brasileiro, a disponibilidade de água é bastante limitada, o que dificulta o desenvolvimento das atividades antrópicas e a fixação do homem nesta região, com fortes impactos econômicos e sociais, além de se constituir um grande obstáculo ao desenvolvimento local. A utilização de águas marginais, salobras ou esgotos tratados na agricultura é uma das maneiras de amenizar esse entrave, já que esta atividade tolera esses recursos e com isso, aumenta-se a disponibilidade de águas de melhor qualidade para atividades que requerem maior padrão de qualidade.

Segundo Kiziloglu et al. (2008), a utilização de águas residuárias para a irrigação é cada vez maior, sendo uma solução técnica para minimizar a degradação do solo restaurando o teor de nutrientes dos mesmos. Assim, com todos os benefícios demonstrados, esta tecnologia requer práticas adequadas de tratamento e de disposição no ambiente, pois estas águas contêm, elevadas concentrações de íons dissolvidos, como o sódio, o boro e cloretos (SOUZA et al., 2003; HESPANHOL, 2009).

O solo apresenta grande capacidade de decompor ou inativar materiais potencialmente prejudiciais ao ambiente, através de reações químicas e da multiplicidade de processos microbiológicos. Os íons e compostos podem ser inativados por reações de adsorção, complexação ou precipitação; já os microrganismos presentes no solo podem decompor os mais diversos materiais orgânicos, desdobrando-os em compostos menos tóxicos ou atóxicos (COSTA et al., 2004).

Segundo Fonseca et al. (2007), as principais alterações nos solos fertirrigados com águas residuárias se resumem aos efeitos sobre carbono e nitrogênio totais, atividade microbiana e N-mineral, cálcio e magnésio trocáveis, salinidade, sodicidade e dispersão de argilas. Dessa forma, a utilização de efluentes na agricultura pode ocasionar problemas como salinização e sodificação do solo, excesso de nitrato na solução do solo e consequente, contaminação do lençol freático (WHO, 2006).

Para controlar futuros problemas, Pinto et al. (2013) recomendam que a utilização dos efluentes devem ser previamente calculadas de acordo com a capacidade de assimilação do sistema solo-planta, o que depende de fatores específicos de cada local, como propriedades físicas e químicas do solo, taxas de absorção da vegetação, concentração de nutrientes no efluente, controlando desta maneira os níveis de referência dos elementos no solo e na planta.

Friedman et al. (2007) testaram a aplicação de efluentes doméstico secundários (CE 2,3 dS m<sup>-1</sup>) em comparação com água potável (CE 0,7 dS m<sup>-1</sup>), no cultivo de girassol ornamental, e observaram para a camada de 0 - 0,60 m, elevação nos teores de Cl<sup>-</sup>, B, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P e Na<sup>+</sup> como também, da RAS, e CEes e diminuição dos teores de (Ca + Mg), e concluíram que a irrigação com água de qualidade salino-sódico caracterizadas por RAS>15 mmol L<sup>-0,5</sup> e CE<4 dS m<sup>-1</sup>, pode induzir a danos ao solo, por dispersão das argilas.

Segundo Ramalho Filho et al. (2005), teores relativamente altos de sódio, em relação aos de cálcio e magnésio na água de irrigação, normalmente superiores a 3:1, ou mesmo baixos valores absolutos de cálcio no solo, tendem a prejudicar suas propriedades físico-químicas, desequilibrando-o estruturalmente, e por fim, reduzindo sua permeabilidade.

Estudos realizados com aplicação de efluentes domésticos evidenciam atenção particular que deve ser dada ao Na<sup>+</sup>, devido aos incrementos que geralmente ocorrem nos teores trocáveis, solúveis, percentual de sódio trocável (PST) e também na condutividade elétrica da solução (GLOAGUEN et al., 2007; FONSECA et al., 2007). Segundo Trani (2001), os valores máximos de Na<sup>+</sup> na água de irrigação devem permanecer entre 50 a 70 mg L<sup>-1</sup>; assim, a água utilizada não deverá causar dano algum à cultura nem ao solo.

A relação entre o teor de Na<sup>+</sup> e os cátions Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, na água de irrigação é quantificado a partir da razão de adsorção de sódio (RAS). A tendência natural da utilização de águas com elevada salinidade e RAS, é ocasionar um aumento na porcentagem de sódio trocável (PST), no solo. Com o aumento da PST aumenta o risco de deterioração das propriedades físicas, especificamente a dispersão de argilas como consequência disso, ocorre desestruturação do solo a partir da quebra dos agregados, bloqueando os poros, e diminuindo a permeabilidade.

Portanto, para manter sustentabilidade produtiva do solo é necessário um monitoramento das alterações nas características desse solo. Dessa forma, objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos da aplicação de efluentes domésticos nos atributos químicos do solo cultivado com girassol, no semiárido pernambucano.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi instalado na Unidade Piloto de Reuso Hidroagrícola da UFRPE localizada no município de Ibimirim, PE com Latitude de 8°32'05" S e Longitude de 37°41'58" W, situada a 333 km de Recife. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é do tipo BSw'h', semiárido muito quente, com precipitação média anual de 454

mm e temperatura média anual em torno de 24,7 °C. O solo foi caracterizado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico A moderado e relevo predominantemente plano (EMBRAPA, 2006), cuja caracterização textural está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição textural do solo utilizado. Ibimirim-PE, 2011.

Camada (m)	Horizontes	Areia Silte Argila			Classe Textural
		g kg <sup>-1</sup>			
0 - 0,16	A	760	80	160	Franco arenosa
0,16 - 0,66	C1	760	80	160	Franco arenosa
0,66 - 0,99	C2	680	60	260	Franco argilo arenosa
0,99 - 1,34	C3	680	60	260	Franco argilo arenosa
1,34 - 1,55	C4	720	40	240	Franco argilo arenosa
1,55 <sup>+</sup>	R	740	40	220	Franco argilo arenosa

Na Tabela 2, são apresentados os resultados preliminar da análise de fertilidade de solo da área experimental coletado nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m através de quatro amostras simples originando uma amostra composta. O solo foi considerado de fertilidade média (V% = 64,6) baixa capacidade de troca catiônica a pH 7,0, não possui limitação quanto a toxicidade por alumínio (m% = 0) e baixo teor de matéria orgânica.

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental. Ibimirim -PE, 2010.

Camada (m)	pH <sub>H2O</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	H + Al	CTC	PST	V	P	COT	MO
		(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )							(%)	(mg kg <sup>-1</sup> )		(g kg <sup>-1</sup> )	
0 - 0,2	7,1	2,39	2,30	0,26	0,36	5,30	2,90	8,20	4,42	64,63	71,41	2,97	5,1
0,2 - 0,4	7,0	1,88	2,20	0,25	0,38	4,70	3,26	7,96	4,71	59,03	42,34	1,65	2,84

O experimento consistiu da irrigação da cultura do girassol, via gotejamento com quatro tipos de águas e duas lâminas de irrigação. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições, sendo o primeiro fator formado por tipos de tratamento águas utilizadas na irrigação, as quais foram oriundas por três métodos de tratamento de esgoto bruto: A<sub>1</sub> - água residuária tratada por reator anaeróbio UASB, A<sub>2</sub> - água residuária tratada por decanto digestor e filtragem anaeróbia, A<sub>3</sub> - água residuária tratada por filtragem anaeróbia e A<sub>4</sub> - água de abastecimento (testemunha); o segundo fator foi composto por duas frações de lixiviação: L<sub>1</sub> - sem fração de lixiviação, ou seja, lâmina de irrigação igual à evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), e L<sub>2</sub> - com fração de lixiviação de 20%, ou seja, lâmina de irrigação igual a 1,2 ET<sub>c</sub>.

O girassol foi semeado em espaçamento de 0,25 m entre plantas por 1,0 m entre linhas utilizando-se a cultivar Helio 250 (H250), o que compreende a uma densidade de 40.000 plantas ha<sup>-1</sup>. As parcelas foram formadas por três linhas de plantas de 6 m considerando-se como área útil a linha central excluindo-se 0,5 m em cada extremidade.

Foi utilizado um sistema de irrigação localizada do tipo gotejamento, manejado através da estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) de acordo com a Equação 1, adotando um turno de rega médio de um dia.

$$ETc = ETo \times Kc \times KL_{med} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

ETc - evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>

ETo - evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia<sup>-1</sup>

Kc - coeficiente de cultivo, adimensional

KL<sub>med</sub> - coeficiente de localização médio, adimensional

A estimativa da ETo foi calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998) (Equação 2) utilizando dados climáticos obtidos da estação meteorológica do INMET.

$$ETo = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

ETo - evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;

R<sub>n</sub> - radiação líquida na superfície da cultura, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

G - densidade de fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

T<sub>2</sub> - temperatura do ar a 2 m de altura, °C;

u<sub>2</sub> - velocidade do vento a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;

e<sub>s</sub> - pressão de vapor de saturação, kPa;

e<sub>a</sub> - pressão atual de vapor, kPa;

(e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) - déficit de pressão de vapor de saturação, kPa;

Δ - declividade da curva de pressão vapor de saturação versus temperatura, kPa °C<sup>-1</sup>;

γ - constante psicrométrica, kPa °C<sup>-1</sup>.

A partir do 27<sup>o</sup> dia após a semeadura (DAS) as lâminas de irrigação foram diferenciadas e os tratamentos com L<sub>2</sub> passaram a receber 20% mais água que os tratamentos com L<sub>1</sub>,

totalizando uma lâmina de até o final do ciclo. A diferenciação entre as duas lâminas de irrigações foi feita por meio da variação do tempo de irrigação, conforme a Equação 3.

$$T_i = \frac{(F)(ET_c)(E_{LL} E_g)}{q_g E_a} 60 \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

$T_i$  - tempo de irrigação, min;

$F$  - fator de correção da evapotranspiração (1 ou 1,2); para 100% da ETC e 120%, respectivamente

$ET_c$  - evapotranspiração de cultivo,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$E_{LL}$  - espaçamento entre linhas laterais, m;

$E_g$  - espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;

$q_g$  - vazão do emissor,  $\text{L h}^{-1}$ ;

$E_a$  - eficiência do sistema de irrigação, decimal.

Na Figura 1 está apresentado a precipitação pluviométrica, evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) acumulada e as lâminas de irrigação aplicadas no experimento.

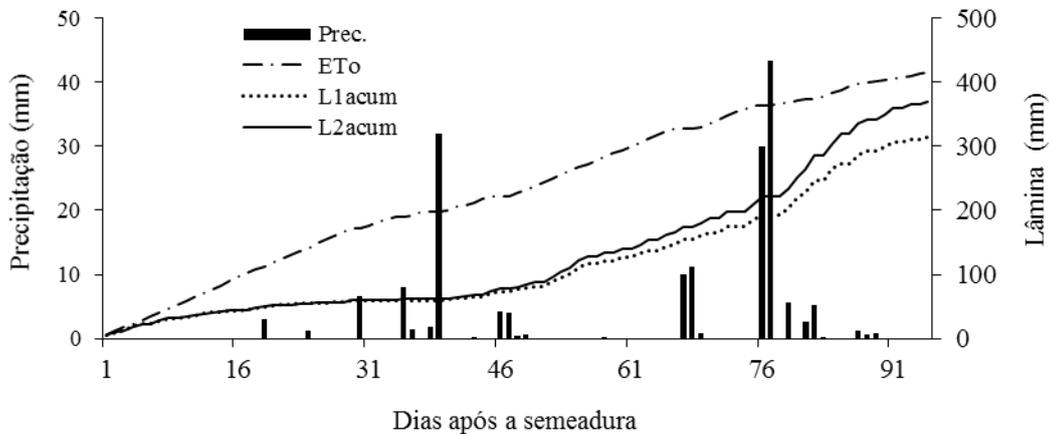


Figura 1. Dados de precipitação pluviométrica, evapotranspiração de referência e lâminas de irrigação acumuladas durante a condução do experimento.

Foram realizadas análises quinzenalmente, dos parâmetros físico-químicos das águas utilizadas na irrigação de cada tratamento conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), os valores médios dos resultados estão apresentados na Tabela 3, e na Tabela 4 estão apresentados o aporte de nutriente aplicado via irrigação, por tratamento, de acordo com a lâmina utilizada.

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros físico-químicos das águas utilizadas na irrigação. Ibimirim-PE, 2011.

Parâmetros	Tipos de águas			
	A <sub>1</sub> - UASB	A <sub>2</sub> - DD + FA	A <sub>3</sub> - FA	A <sub>4</sub> - água potável
pH	6,87	6,88	6,95	6,53
CE (dS m <sup>-1</sup> )	2,14	1,99	1,88	0,22
Cálcio (Ca) (mg L <sup>-1</sup> )	155,60	109,50	150,70	32,10
Magnésio (Mg) (mg L <sup>-1</sup> )	44,70	62,90	33,80	20,60
Sódio (Na) (mg L <sup>-1</sup> )	99,10	116,60	111,70	22,50
RAS <sup>(R)</sup> (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	1,80	1,55	2,13	0,75
Nitrogênio total (N) (mg L <sup>-1</sup> )	106,90	74,32	84,30	-
Fósforo (P) (mg L <sup>-1</sup> )	10,30	8,70	9,40	0,31
Potássio (K) (mg L <sup>-1</sup> )	43,60	42,40	53,60	13,30
Cloreto (Cl) (mg L <sup>-1</sup> )	171,10	159,00	186,20	38,30
Sulfatos - (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (mg L <sup>-1</sup> )	19,80	89,60	67,70	5,19
Dureza total - CaCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	221,60	196,20	222,80	81,30
SST <sup>(S)</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	61,60	44,30	114,60	22,40
DQO <sup>(Q)</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	395,50	384,60	694,90	10,80
DBO <sup>(B)</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	36,10	47,30	65,00	0,90

<sup>(R)</sup>RAS - Razão de adsorção de sódio; <sup>(S)</sup>Sólidos suspensos totais; <sup>(Q)</sup>Demanda química de oxigênio; <sup>(B)</sup>Demanda bioquímica de oxigênio.

Tabela 4. Nutrientes aplicados ao solo cultivado com girassol, via água de irrigação.

Tratamento	N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----							
A <sub>1</sub> L <sub>1</sub>	337,27	32,50	137,56	490,92	141,03	312,66	539,82	62,47
A <sub>2</sub> L <sub>1</sub>	234,48	27,45	133,77	345,47	198,45	367,87	501,65	282,69
A <sub>3</sub> L <sub>1</sub>	265,97	29,66	169,11	475,46	106,64	352,41	587,46	213,59
A <sub>4</sub> L <sub>1</sub>	0,00	0,98	41,96	101,28	64,99	70,99	120,84	16,37
A <sub>1</sub> L <sub>2</sub>	395,74	38,13	161,41	576,03	165,48	366,87	633,41	73,30
A <sub>2</sub> L <sub>2</sub>	275,13	32,21	156,96	405,37	232,86	431,65	588,62	331,70
A <sub>3</sub> L <sub>2</sub>	312,08	34,80	198,43	557,89	125,13	413,51	689,31	250,63
A <sub>4</sub> L <sub>2</sub>	0,00	1,15	49,24	118,83	76,26	83,30	141,79	19,21

Para avaliar o efeito dos tratamentos nas características químicas do solo foram realizadas coletas utilizando um trado do tipo holandês paralelamente à linha gotejadora, a uma distância de 0,10 m da linha das plantas, nas camadas de 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m em duas épocas 77 e 98 DAS. As amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm e submetidas as análises químicas. Determinaram-se os seguintes atributos cátions trocáveis

(Ca, Mg, K, Na), fósforo disponível (P), acidez potencial (H + Al) e porcentagem de sódio trocável (PST). Para os cátions trocáveis Ca e Mg, a extração foi feita com uma solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, e para Na, K e P foi utilizado a extração com Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>), determinando-se os teores no extrato; e para a acidez potencial a extração foi feita com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>. A capacidade de troca de cátions (CTC) foi obtida por meio do somatório dos cátions trocáveis (Ca + Mg + Na + K + H + Al), e a PST foi calculada utilizando a Equação 4. Todos esses atributos foram determinados conforme a metodologia proposta pela Embrapa (2009).

$$PST = \frac{Na^+}{CTC} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

PST - Porcentagem de sódio trocável (%);

Na - Teor de sódio no solo (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>);

CTC - Capacidade de troca de cátions (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

Para determinação dos elementos solúveis, preparou-se uma pasta de saturação do solo, conforme a metodologia de Richards (1954), e foram determinados as seguintes variáveis: condutividade elétrica (CEes), o pH, e concentrações de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, calculou-se a razão de adsorção de sódio (RAS) (Equação 5). Determinou-se também, o teor de carbono orgânico total (COT) do solo através da oxidação do carbono pelo dicromato de potássio conforme a metodologia de Yeomans & Bremner (1988).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}} \quad (5)$$

Em que:

RAS - Razão de adsorção de sódio, (mmol dm<sup>-3</sup>)<sup>0,5</sup>;

Na - concentração de sódio no solo, (mmol dm<sup>-3</sup>);

Mg - concentração de magnésio no solo, (mmol dm<sup>-3</sup>).

Os dados foram analisados separadamente para cada época de coleta, considerando a profundidade em parcelas subdivididas. Realizou-se análise de variância e teste F ao nível de 5% de probabilidade. Quando constatado efeito significativo para os tratamentos, realizou-se o teste de comparação de média de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Atributos Químicos

A evolução dos atributos químicos médios do solo nas camadas 0-0,2 e 0,2-0,4 m estão apresentadas na Figura 2. Observou-se alterações principalmente nos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e carbono orgânico total (COT) em relação ao início do experimento. No período de 0 a 77 DAS, observa-se na Figura 2A e 2B, que os teores médios de Ca e Mg totais, apresentaram reduções, em decorrência provavelmente, da elevada taxa de extração desses nutrientes pela cultura no período, como constatado por Zobiole et al. (2010) e Braz e Rossetto (2010); a partir dos 77 DAS passou então a haver acúmulo desses nutrientes no solo.

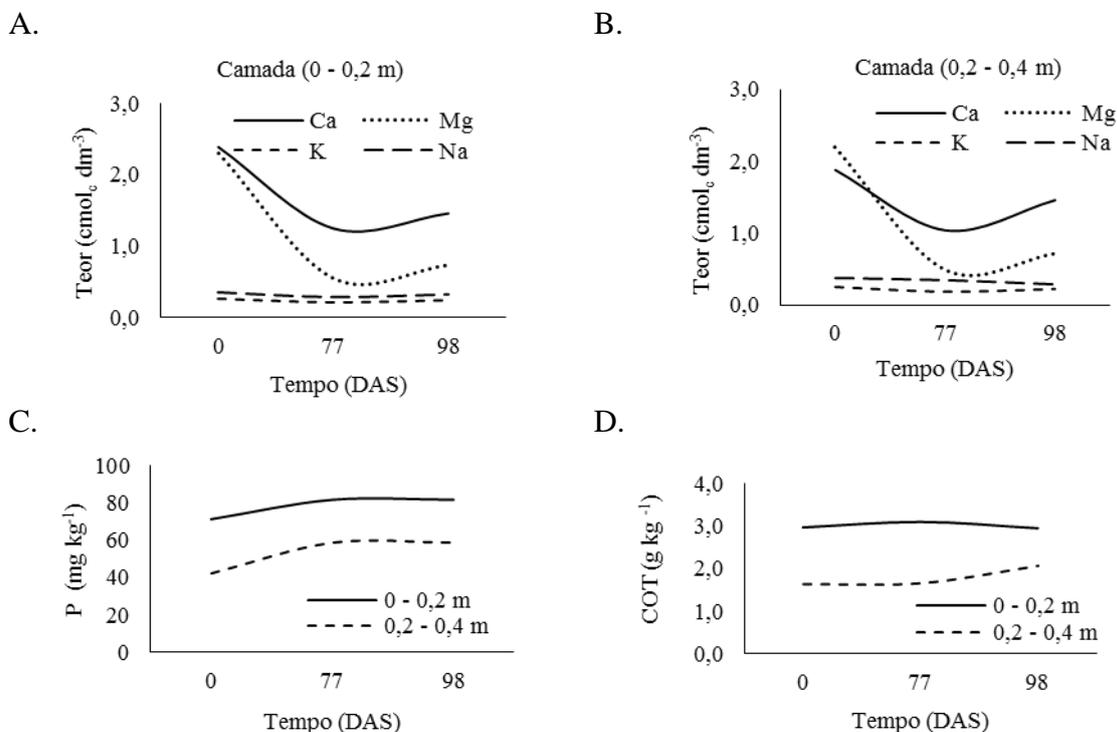


Figura 2. Teor médio de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) potássio (K), fósforo e carbono orgânico total (COT), nas camadas de 0 - 0,2 e 0,2 - 0,4 m.

Os teores médios de Na e K praticamente não se alteraram nas duas camadas avaliadas (Figura 2A e 2B). Para o P, observou-se teores mais elevados na camada de 0-0,20 m, justificado pela baixa mobilidade deste nutriente no solo e uma tendência de acúmulo principalmente no período de 0 a 77 DAS (Figura 2C). Para os teores de COT, observou-se maiores valores na camada superficial e a partir dos 77 DAS, verificou-se uma tendência de diminuição na camada de 0-0,2 m, provavelmente em decorrência da mineralização da

matéria orgânica (MO) nesta camada, por ela está mais exposta aos raios solares, e com isso haver maior variação de temperatura, fator que favorece o processo de mineralização.

A partir da análise de variância dos fatores estudados, observou-se aos 77 DAS, efeito significativo ( $p < 0,01$ ) dos tipos de água para Mg, Na e PST, e aos 98 DAS para Na e PST (Tabela 5). Quanto à interação dos fatores tipos de águas e lâminas de irrigação, verificou-se efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para o teor de K aos 77 DAS, como também para o teor de Na aos 98 DAS. Para o fator camadas de solo, observou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) nas variáveis Ca, K e PST apenas aos 77 DAS, e não foi constatado efeito da interação entre as camadas e os demais fatores nas variáveis analisadas.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), e porcentagem de sódio trocável (PST) no solo cultivado com girassol aos 77 e 98 DAS. Ibimirim-PE, 2011.

Fonte de variação	G.L.	77 DAS					98 DAS				
		Ca	Mg	Na	K	PST	Ca	Mg	Na	K	PST
Valores de F											
Bloco	3	1,35 <sup>n.s.</sup>	1,75 <sup>n.s.</sup>	3,41 <sup>n.s.</sup>	37,11 <sup>**</sup>	5,42 <sup>**</sup>	0,27 <sup>n.s.</sup>	2,92 <sup>n.s.</sup>	3,73 <sup>n.s.</sup>	11,87 <sup>**</sup>	5,17 <sup>*</sup>
Água (A)	3	0,38 <sup>n.s.</sup>	7,23 <sup>**</sup>	32,35 <sup>**</sup>	2,83 <sup>n.s.</sup>	44,93 <sup>**</sup>	0,76 <sup>n.s.</sup>	0,40 <sup>n.s.</sup>	69,09 <sup>**</sup>	0,56 <sup>n.s.</sup>	44,46 <sup>**</sup>
Lâm. (L)	1	1,09 <sup>n.s.</sup>	0,14 <sup>n.s.</sup>	0,17 <sup>n.s.</sup>	0,36 <sup>n.s.</sup>	0,012 <sup>n.s.</sup>	0,07 <sup>n.s.</sup>	2,44 <sup>n.s.</sup>	1,18 <sup>n.s.</sup>	1,82 <sup>n.s.</sup>	0,42 <sup>n.s.</sup>
A x L	3	0,36 <sup>n.s.</sup>	0,27 <sup>n.s.</sup>	1,89 <sup>n.s.</sup>	3,99 <sup>*</sup>	2,53 <sup>n.s.</sup>	1,14 <sup>n.s.</sup>	0,16 <sup>n.s.</sup>	5,11 <sup>*</sup>	1,24 <sup>n.s.</sup>	3,49 <sup>n.s.</sup>
Erro (a)	9										
Camada (C)	2	11,39 <sup>**</sup>	2,03 <sup>n.s.</sup>	1,18 <sup>n.s.</sup>	3,8 <sup>**</sup>	4,25 <sup>*</sup>	0,09 <sup>n.s.</sup>	0,84 <sup>n.s.</sup>	2,39 <sup>n.s.</sup>	1,34 <sup>n.s.</sup>	0,12 <sup>n.s.</sup>
A x C	6	1,28 <sup>n.s.</sup>	0,46 <sup>n.s.</sup>	1,06 <sup>n.s.</sup>	0,4 <sup>n.s.</sup>	1,17 <sup>n.s.</sup>	1,09 <sup>n.s.</sup>	1,74 <sup>n.s.</sup>	0,69 <sup>n.s.</sup>	1,69 <sup>n.s.</sup>	0,58 <sup>n.s.</sup>
L x C	2	1,36 <sup>n.s.</sup>	0,77 <sup>n.s.</sup>	0,03 <sup>n.s.</sup>	0,42 <sup>n.s.</sup>	0,37 <sup>n.s.</sup>	0,45 <sup>n.s.</sup>	0,68 <sup>n.s.</sup>	0,61 <sup>n.s.</sup>	0,03 <sup>n.s.</sup>	1,36 <sup>n.s.</sup>
A x L x C	6	0,63 <sup>n.s.</sup>	1,05 <sup>n.s.</sup>	0,42 <sup>n.s.</sup>	0,69 <sup>n.s.</sup>	0,23 <sup>n.s.</sup>	1,23 <sup>n.s.</sup>	0,92 <sup>n.s.</sup>	0,83 <sup>n.s.</sup>	0,65 <sup>n.s.</sup>	0,85 <sup>n.s.</sup>
Erro (b)	60										
CV a (%)		25,52	30,57	41,21	20,43	34,4	45,43	26,35	30,28	24,37	34,3
CV b (%)		27,47	31,47	49,47	27,95	47,44	34,75	29,55	39,53	26,86	45,96

Prof. - profundidade do solo; <sup>n.s.</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> - respectivamente, não significativo, significativo 1% e a 5 % de probabilidade.

Aos 77 DAS, verificou-se que os teores médios de Mg e Na dos tratamentos irrigados com efluentes domésticos (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>) foram em média, superiores em 40 e 270% respectivamente, aos teores obtidos pelo tratamento A<sub>4</sub> (Tabela 6). Ricci et al. (2010), trabalhando com adição de lodo de esgoto no solo, observaram alterações significativas nos teores de Mg do solo; e de forma semelhante, Medeiros et al. (2005), concluíram que o efluente doméstico pode ser uma alternativa de aporte de Mg ao solo.

Aos 98 DAS, verificou-se que os tratamentos irrigados com efluentes domésticos mantiveram os teores de sódio superiores em 348% em relação aos teores de sódio dos

tratamentos irrigados com água de abastecimento (A<sub>4</sub>), onde os maiores valores de Na<sup>+</sup> foram observados utilizando as águas do tipo A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub> (Tabela 6).

Analisando-se o efeito dos tipos de águas na PST do solo, observou-se que a utilização de águas do tipo A<sub>3</sub>, proporcionou valores mais elevados na PST do solo aos 77 DAS, sendo inclusive superior às demais parcelas também irrigadas com efluentes domésticos. Por outro lado, a menor PST (4,2%) foi obtida irrigando-se com água de abastecimento, dessa forma, a utilização de efluentes domésticos proporcionou um aumento médio de 3,5 vezes na PST do solo aos 77 DAS e de 4,2 vezes aos 98 DAS em relação à água de abastecimento. A maior elevação da PST do solo, apresentado por esse tratamento já era esperado em virtude da maior RAS deste tipo de água (2,13 mmolc L<sup>-1</sup>)<sup>0.5</sup> (Tabela 3), ratificando assim, a necessidade de monitoramento dos atributos químicos do solo, quando se faz uso dessas fontes de água.

Com o aumento da PST eleva-se o risco de deterioração das propriedades físicas, com a dispersão de argilas e desestruturação do solo a partir da quebra dos agregados, bloqueando os poros e diminuindo a permeabilidade. Esse processo quando ocorre periodicamente pode afetar a condutividade hidráulica do solo, prejudicando o crescimento das plantas, diminuindo a lixiviação levando a salinização (BOND, 1998).

Tabela 6. Teste de comparação de médias do fator tipos de água nas variáveis, magnésio (Mg), sódio (Na) e porcentagem de sódio trocável (PST) aos 77 DAS e Na e PST no solo aos 98 DAS. Ibimirim-PE, 2011.

Tipos de água	77 DAS			98 DAS	
	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	PST (%)	Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	PST (%)
A <sub>1</sub> - UASB	0,60 a	0,34 a	12,07 b	0,33 b	9,48 a
A <sub>2</sub> - RD + FA	0,56 a	0,41 a	14,67 b	0,45 a	11,81 a
A <sub>3</sub> - FA	0,51 a	0,47 a	17,4 a	0,43 a	10,79 a
A <sub>4</sub> - água potável	0,40 b	0,11 b	4,2 c	0,09 c	2,56 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Skott Knott a 5%.

Mesmo sendo constatado um aumento significativo da PST, dos tratamentos irrigados com efluentes em relação ao tratamento irrigado com água de abastecimento (A<sub>4</sub>), de forma geral, aos 98 DAS, observou-se uma redução média de 28% na PST do solo em relação à avaliação realizada aos 77 DAS, que pode ser atribuída, à elevação média dos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> e acidez potencial (Figura 3A e 3B). Corroborando com estes resultado, Leal et al. (2009) verificaram, após a aplicação de uma lâmina de 2.524 mm com efluentes domésticos, durante 16 meses, um aumento de 4% para 26% na PST do solo, com aumento da

porcentagem de argila dispersa em água. Segundo Gloaguen et al. (2007) e Fonseca et al. (2007), essas alterações na PST são os principais entraves observados quando se utilizam efluentes domésticos na irrigação.

Na Figura 3, é apresentado os teores médios dos nutrientes e acidez potencial determinado nas duas épocas de avaliação, como também, nas camadas de 0-0,2m e 0,2-0,4m, para os quatro tipos de águas utilizadas na irrigação. Verifica-se, comparando as Figura 3B e 3D, com as Figuras 3A e 3C, que em todos tratamentos, observou-se elevação principalmente dos teores de Ca, Mg e acidez potencial, nas duas camadas avaliadas.

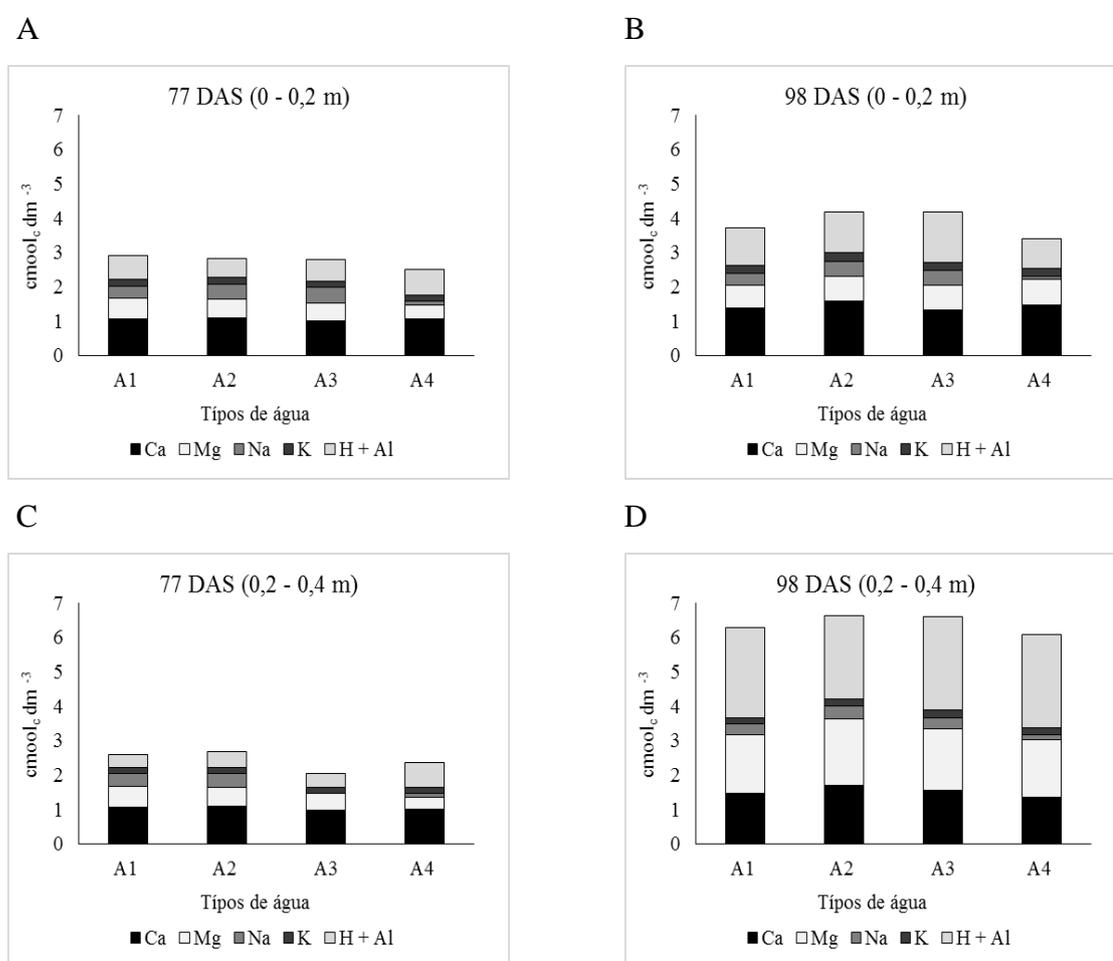


Figura 3. Teor médio de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) potássio (K) e acidez potencial, aos 77 DAS na camada de 0 - 0,2 m (A), 98 DAS na camada de 0 - 0,2 m (B), aos 77 DAS na camada de 0,2 - 0,4 m (C), e aos 98 DAS na camada de 0,2 - 0,4 m.

Damasceno et al. (2011), avaliaram a fertirrigação com águas residuárias doméstica, com diferentes proporções de N e K em flores de gérbera, e seu efeito no solo e concluíram

que o uso do efluente doméstico, proporcionou efeito na fertilidade média do solo, com elevação dos teores de Ca, Mg, Na, S, pH, à medida que aumentou a proporção do efluente.

Analisando-se o desdobramento da interação dos fatores tipos de água e lâminas de irrigação (Tabela 7), constatou-se que não houve efeito significativo dos tipos de água dentro das lâminas de irrigação para o teor de K aos 77 DAS. Entretanto, para o desdobramento do fator lâminas de irrigação, dentro do fator tipos de água, observou-se aos 77 DAS, para a água do tipo A<sub>3</sub>, maior teor de K no solo quando foi utilizado a lâmina L<sub>2</sub>. Para os demais tipos de águas não foi observado diferença significativa aos 77 DAS, em se utilizar a L<sub>1</sub> ou L<sub>2</sub>.

Aos 98 DAS, observou-se maior teor de sódio (Na) no solo para a lâmina L<sub>1</sub>, utilizando águas do tipo A<sub>2</sub>, enquanto que para a lâmina L<sub>2</sub>, o maior teor de Na foi obtido com as águas do tipo A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>. Para o desdobramento das lâminas dentro dos tipos de águas, observou-se efeito significativo apenas para as águas do tipo A<sub>3</sub>, onde observa-se maior teor de Na quando utiliza-se a lâmina L<sub>2</sub> (Tabela 7).

Tabela 7. Teor de potássio (K) e sódio (Na) no solo, para cada tipo de água e lâminas de irrigação aos 77 DAS e 98 DAS.

Tipos de água	77 DAS		98 DAS	
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>
	K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
A <sub>1</sub> - UASB	0,197 aA	0,193 aA	0,306 bA	0,359 bA
A <sub>2</sub> - RD + FA	0,228 aA	0,205 aA	0,491 aA	0,416 aA
A <sub>3</sub> - FA	0,165 aB	0,217 aA	0,364 bB	0,498 aA
A <sub>4</sub> - água de abastecimento	0,187 aA	0,182 aA	0,1 cA	0,075 cA

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Skott-Knott a 5%, letras minúsculas compara-se entre os tipos de águas (linhas) e letras maiúsculas se compara entre lâminas de irrigação (colunas).

Quanto ao fator camada do solo, observou-se efeito significativo para os teores de Ca, K e PST aos 77 DAS. Para o Ca verificou-se maior acúmulo na camada de 0 - 0,2 m (Tabela 8). Mendonça & Rowell (1994) demonstraram que pequenas variações dos teores de cálcio no solo podem ocorrer em função da baixa concentração do cálcio na água residuária ou pela maior retenção de cálcio pela matéria orgânica; e Medeiros et al. (2005) ressaltam, que o acréscimo ou decréscimo de Ca ao solo está diretamente relacionado à concentração deste elemento na água residuária utilizada na irrigação, à concentração absorvida pelas plantas e à lixiviação no perfil do solo.

Tabela 8. Teste de comparação de médias para o fator profundidade do solo aos 77 DAS nas variáveis Ca, K, PST.

Camada (m)	77 DAS		
	Ca ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	PST (%)
0 - 0,20	1,25 a	0,215 a	9,7 b
0,20 - 0,40	1,04 b	0,177 b	13,6 a
0,40 - 0,60	0,90 b	0,198 a	13,0 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5%, letras minúsculas compara-se as camadas de solo (linhas).

Para o K, verificou-se aos 77 DAS, menores teores na camada intermediária (0,2 - 0,4 m) (Tabela 8), esta redução do teor de K no solo, pode ser atribuída à absorção deste nutriente pela planta, já que nesta camada encontrava-se maior parte do sistema radicular, tendo em vista que o K foi o nutriente mais extraído pela cultura, como também, pode ser atribuída à alta mobilidade deste elemento no solo. Desta forma, pode ter havido translocação do K para uma camada mais inferior (0,4 - 0,6 m) devido à precipitação pluviométrica acumulada de 115 mm até a data da coleta do solo. Sandri et al. (2009), estudaram durante dois ciclos a cultura da alface irrigada com águas residuárias, e observaram no segundo ciclo, uma redução dos teores de K no solo, atribuindo tal efeito também às precipitações pluviométricas intensas. Enquanto Pereira et al. (2011) testando águas residuárias tratadas nas propriedades do solo, observaram uma tendência de decréscimo do K do solo e atribuíram tal efeito, à elevação do teor de Na, refletindo também nos teores desses nos tecidos das plantas.

Quanto à PST, observou-se valores mais elevados nas camadas mais profundas, este resultado pode ter sido ocasionado pela substituição do Na pelo Ca e Mg na camada mais superficial, fato este que deslocou o Na para as camadas inferiores.

### **Condutividade elétrica do extrato de saturação, pH, razão de adsorção de sódio, fósforo disponível e carbono orgânico total**

Na Tabela 9, observa-se o resumo da análise de variância para condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), potencial hidrogeniônico (pH), razão de adsorção de sódio (RAS), fósforo disponível (P) e carbono orgânico total (COT) do solo cultivado com girassol aos 77 e 98 DAS, em função dos tipos de águas, das lâminas de irrigação e das camadas do solo. Observou-se efeito significativo do fator tipos de água nas variáveis CEes, RAS e P aos 77 DAS ( $p < 0,01$ ) e, aos 98 DAS, nas variáveis, RAS, P e COT ( $p < 0,01$ ). Não foi constatado

efeito da interação entre os fatores, como também do fator lâmina de irrigação em nenhuma das variáveis analisadas.

Tabela 9. Resumo da análise de variância para condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), potencial de hidrogênio (pHes), razão de adsorção de sódio (RAS), fósforo disponível (P) e carbono orgânico total (COT) do solo cultivado com girassol aos 77 e 98 DAS.

Fonte de variação	G.L.	77 DAS					98 DAS				
		CEes	pHes	RAS	P	COT	CEes	pHes	RAS	P	COT
Valores de F											
Bloco	3	2,31 <sup>n.s.</sup>	0,091 <sup>n.s.</sup>	7,38 <sup>**</sup>	6,45 <sup>**</sup>	0,301 <sup>n.s.</sup>	0,76 <sup>n.s.</sup>	1,70 <sup>n.s.</sup>	0,49 <sup>n.s.</sup>	5,73 <sup>n.s.</sup>	2,00 <sup>n.s.</sup>
Água (A)	3	14,19 <sup>**</sup>	1,44 <sup>n.s.</sup>	30,04 <sup>**</sup>	7,80 <sup>**</sup>	0,28 <sup>n.s.</sup>	3,68 <sup>n.s.</sup>	3,04 <sup>n.s.</sup>	9,81 <sup>**</sup>	9,29 <sup>**</sup>	8,49 <sup>**</sup>
Lâm. (L)	1	0,33 <sup>n.s.</sup>	0,002 <sup>n.s.</sup>	3,89 <sup>n.s.</sup>	0,04 <sup>n.s.</sup>	0,73 <sup>n.s.</sup>	0,02 <sup>n.s.</sup>	0,37 <sup>n.s.</sup>	0,49 <sup>n.s.</sup>	0,24 <sup>n.s.</sup>	0,80 <sup>n.s.</sup>
A x L	3	1,21 <sup>n.s.</sup>	0,16 <sup>n.s.</sup>	3,34 <sup>n.s.</sup>	0,27 <sup>n.s.</sup>	0,86 <sup>n.s.</sup>	0,07 <sup>n.s.</sup>	0,87 <sup>n.s.</sup>	0,95 <sup>n.s.</sup>	0,39 <sup>n.s.</sup>	3,23 <sup>n.s.</sup>
Erro (a)	9										
Prof.	2	17,87 <sup>**</sup>	2,58 <sup>n.s.</sup>	0,02 <sup>n.s.</sup>	56,95 <sup>**</sup>	25,90 <sup>**</sup>	21,95 <sup>**</sup>	1,28 <sup>n.s.</sup>	2,31 <sup>n.s.</sup>	47,85 <sup>**</sup>	11,56 <sup>**</sup>
A x Prof.	6	0,43 <sup>n.s.</sup>	1,80 <sup>n.s.</sup>	0,36 <sup>n.s.</sup>	0,32 <sup>n.s.</sup>	0,54 <sup>n.s.</sup>	2,72 <sup>n.s.</sup>	0,81 <sup>n.s.</sup>	0,69 <sup>n.s.</sup>	1,72 <sup>n.s.</sup>	0,46 <sup>n.s.</sup>
L x Prof.	2	0,54 <sup>n.s.</sup>	0,009 <sup>n.s.</sup>	0,06 <sup>n.s.</sup>	0,08 <sup>n.s.</sup>	0,57 <sup>n.s.</sup>	1,07 <sup>n.s.</sup>	0,03 <sup>n.s.</sup>	2,49 <sup>n.s.</sup>	1,75 <sup>n.s.</sup>	0,003 <sup>n.s.</sup>
A x L x Prof.	6	1,06 <sup>n.s.</sup>	0,54 <sup>n.s.</sup>	0,74 <sup>n.s.</sup>	0,45 <sup>n.s.</sup>	1,05 <sup>n.s.</sup>	0,81 <sup>n.s.</sup>	0,29 <sup>n.s.</sup>	0,27 <sup>n.s.</sup>	0,65 <sup>n.s.</sup>	0,39 <sup>n.s.</sup>
Erro (b)	60										
CV a (%)		53,75	7,37	47,55	40,85	54,18	75,55	7,41	56,40	33,89	24,19
CV b (%)		42,71	5,80	65,05	32,83	44,16	61,74	8,05	55,18	29,71	52,5
Média		1,02	7,09	3,84	55,87	2,13	0,98	6,63	2,91	59,69	2,02

Prof. - profundidade do solo; <sup>n.s.</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> - respectivamente, não significativo, significativo 1% e a 5 % de probabilidade.

A faixa de pH adequado para a águas de irrigação está entre 6,5 e 8,4. Segundo Ayers & Westcot (1991), efluentes de sistemas biológicos de tratamento de esgotos com pH fora dessa faixa poderão causar desequilíbrios nutricionais à planta. Os efluentes utilizados neste estudo apresentaram valores de pH variando de 6,87 a 6,95 (Tabela 3), nesse contexto todos os efluentes apresentaram adequados para utilização na agricultura.

O pH do extrato de saturação do solo (pHes) apresentou valor médio de 7,08 aos 77 DAS e 6,63 aos 98 DAS, não havendo efeito significativo dos fatores estudados nessa variável. Na literatura há relatos de aumento (JNAD et al., 2001, GLOAGUEN et al., 2007, PEREIRA et al., 2011), como de redução do pH do solo decorrente da aplicação de água residuárias na agricultura. Assim, o pH pode aumentar, em razão da adição de cátions trocáveis e ânions presentes nos efluentes (STEWART et al., 1990), ou reduzir devido à rápida nitrificação da amônia e amônio, liberando íons de hidrogênio que permanecem adsorvidos aos colóides do solo (JNAD et al., 2001); a redução também pode acontecer

devido à formação de ácidos orgânicos decorrente da degradação da matéria orgânica pelos microrganismos, produzindo dióxido de carbono (BOUWER & CHANEY, 1974).

Dessa forma, a fração de lixiviação de 0,2 não foi suficiente para modificar o efeito da irrigação com efluentes domésticos nas variáveis analisadas. Para o fator camadas de solo, observou-se efeito ( $p < 0,01$ ) nas variáveis, CEes, P e COT nos dois períodos de amostragem.

Aos 77 DAS, não foi observado diferença na CEes entre os tratamentos irrigados com efluentes domésticos ( $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ ), havendo diferença apenas destes, em relação aos tratamentos irrigados com água do tipo  $A_4$ , de forma que, em média, observou-se uma elevação na CEes de  $0,78 \text{ dS m}^{-1}$  o equivalente a 77% entre os referidos tratamentos (Tabela 10). Ao final do ciclo (98 DAS), não foi constatado diferença significativa entre os tipos de águas, entretanto observou-se que os tratamentos irrigados com efluentes domésticos tratados apresentaram CEes médias de  $1,11 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo esta superior à obtida pelo tratamento  $A_4$  em 81,9% (Tabela 10).

Tabela 10. Teste de comparação de média dos tipos de água e camadas de solo na condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), razão de adsorção de sódio (RAS), fósforo disponível (P) e carbono orgânico total (COT) do solo aos 77 DAS e 98 DAS.

Fatores	77 DAS				98 DAS			
	CEes ( $\text{dS m}^{-1}$ )	RAS ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) <sup>0.5</sup>	P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	COT ( $\text{g kg}^{-1}$ )	CEes ( $\text{dS m}^{-1}$ )	RAS ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) <sup>0.5</sup>	P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	COT ( $\text{g kg}^{-1}$ )
Tipos de água								
$A_1$ -UASB	1,02 a	4,05 a	55,62 a	1,98	0,9	3,80 a	59,28 a	2,42 a
$A_2$ - RD + FA	1,21 a	4,86 a	68,5 a	2,07	1,25	3,47 a	72,42 a	2,47 a
$A_3$ - FA	1,43 a	5,53 a	61,36 a	2,16	1,18	3,00 a	64,43 a	1,78 c
$A_4$ - água potável	0,44 b	0,91 b	38,02 b	2,28	0,61	1,53 b	42,64 b	2,13 b
Camada (m)								
0 - 0,20	1,4 a	3,77	83,36 a	3,10 a	1,55 a	2,88	81,84 a	2,95 a
0,20 - 0,40	0,81 b	3,90	47,83 b	1,67 b	0,82 b	3,35	58,72 b	2,08 b
0,40 - 0,60	0,86 b	3,84	36,43 c	1,60 b	0,58 b	2,49	38,51 c	1,57 b

Médias seguidas de mesma letra (entre linhas), não diferem significativamente entre si pelo teste Skott Knott a 5%.

A relação entre o teor de  $\text{Na}^+$  e os cátions solúveis  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  na água de irrigação ou extrato de saturação é quantificado a partir da razão de adsorção de sódio (RAS). Para esta variável, observou-se nas duas épocas de coleta, que as parcelas irrigadas com efluentes domésticos, apresentaram valores superiores às parcelas irrigadas com água de abastecimento, de forma que, aos 77 DAS, o aumento foi de 429% e aos 98 DAS essa diferença reduziu para 156%, sendo atribuída tanto à diminuição da RAS nos tratamentos irrigados com efluentes, como também devido à elevação da RAS nas parcelas irrigadas com água de abastecimento (Tabela 10). A tendência natural da utilização de águas com elevada salinidade e RAS, é

ocasionar um aumento na PST do solo, caso não haja um sistema de drenagem eficiente como também um balanço efetivo de sais na zona radicular, assim, atenção especial deve ser dada ao manejo de água e solo quando se irriga com águas residuárias domésticas, para que se evite deterioração das propriedades do solo.

A sodificação, passagem do  $\text{Na}^+$  da forma de íon solúvel para o complexo de troca, começa a ter importância quando este cátion constitui a metade ou mais dos cátions solúveis da solução do solo (USSL STAFF, 1954). Nestas condições, os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , por serem menos solúveis, e em consequência da evapotranspiração, estes íons se concentram e em presença de carbonato, bicarbonato e sulfatos se precipitam, ficando o  $\text{Na}^+$ , praticamente, como o único cátion presente na solução. Por este motivo, o  $\text{Na}^+$ , apesar de ter menor poder de troca, consegue deslocar os outros cátions por ação de massa (RIBEIRO et al., 2003; RIBEIRO et al., 2009). Por isso, visando a manutenção dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  solúveis, justifica-se ainda mais a manutenção do teor de umidade do solo na capacidade campo quando se trabalha com águas residuárias.

Para o fósforo disponível (P), a utilização dos efluentes domésticos proporcionou um aumento médio de 62% aos 77 DAS, e de 48% aos 98 DAS, em relação aos tratamentos irrigados com água de abastecimento (Tabela 10).

Quanto ao teor de COT no solo, observou-se de forma geral, baixos teores de COT, sendo justificado pela alta eficiência dos tratamentos de esgoto na redução da carga orgânica do afluente. Mesmo assim, verificou-se aos 98 DAS, que a utilização das águas do tipo A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub> apresentaram uma elevação média de 15% no teor de COT em relação ao A<sub>4</sub> (Tabela 10), e que o tipo de água A<sub>3</sub> apresentou menor teor de COT diferindo em relação aos demais. Dessa forma, a redução do COT do solo pode ter sido ocasionada pelo aumento da taxa de mineralização, que é afetada por alguns fatores como temperatura, umidade e manejo do solo, em conjunto com os tipos de resíduos orgânicos adicionados ao solo e microrganismos presentes, sendo um processo muito dinâmico, como afirmam Stanford e Epstein (1974) e Myers et al. (1982).

Feigin et al. (1991) e Duarte et al. (2008) justificaram a redução do COT em solos irrigados com efluentes secundários devido às altas concentrações de nitrogênio, que é susceptível a decomposição microbiana do solo e são transformados em compostos inorgânicos simples disponíveis às plantas, como o amônio e nitrato, e à baixa relação C:N dos efluentes. Gloaguen et al., (2007) relataram em trabalho com as culturas de milho e girassol, após dois anos de irrigação com efluentes de estação de tratamento, diminuição nos

teores de COT no perfil do solo atribuindo esse efeito, ao aumento da biomassa microbiana, da respiração, e da atividade enzimática dos microorganismos.

Quanto ao fator camada de solo, verificou-se, maiores valores de CEes, P e COT na camada superficial (0-0,2 m), nas duas épocas estudadas (Tabela 10). Possivelmente a maior CEes na camada de 0-0,2 m está associada à elevada evapotranspiração da região, onde os sais ascendem por fluxo de massa, a água evapora, e os sais tendem a acumular na camada superficial.

Para o acúmulo de P na camada de 0 - 0,2, Costa et al. (2009) e Jnad et al. (2001) relatam que o P apresenta tendência em permanecer próximo ao local de aplicação, por apresentar rápida precipitação e reação de adsorção no solo, sendo a matéria orgânica e as ligações com íons de óxidos de Fe e Al, os principais responsáveis pela retenção. Em média, praticamente não houve variação do teor de P disponível, em cada camada de solo entre as épocas avaliadas. Papadopoulos & Stylianou (1991), avaliando a utilização de efluentes domésticos na cultura do girassol, após 3 anos consecutivos, observaram que os teores de P apresentaram maior acúmulo até a profundidade de 0,3 m.

### **Cátions solúveis: cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ) e sódio ( $\text{Na}^+$ )**

Por meio da análise de variância dos cátions obtidos a partir do extrato de saturação do solo observou-se, nas duas épocas de coletas, efeito significativo do fator tipos de água apenas para o teor de Sódio ( $\text{Na}^+$ ). Já para o fator camadas de solo, observou-se efeito significativo para todas as variáveis avaliadas, exceto para o  $\text{Na}^+$  aos 77 DAS (Tabela 11).

Observou-se aos 77 DAS, que a água do tipo  $\text{A}_3$  proporcionou maior teor de  $\text{Na}^+$  solúvel, seguida pelas águas  $\text{A}_2$  e  $\text{A}_1$  as quais não diferiram significativamente. A irrigação com a água do tipo  $\text{A}_3$  apresentou um aumento de 43% no teor de  $\text{Na}^+$ , em comparação à média dos tratamentos ( $\text{A}_1$  e  $\text{A}_2$ ) e 858% em relação ao tratamento  $\text{A}_4$ . Aos 98 DAS, observou-se que os tratamentos  $\text{A}_2$  e  $\text{A}_3$  apresentaram teor de  $\text{Mg}^{2+}$  superior aos teores encontrados nas águas dos tipos  $\text{A}_1$  e  $\text{A}_4$ , não havendo diferença significativa entre esses dois últimos. Para o teor de  $\text{Na}^+$  aos 98 DAS, não foi observado diferença significativa entre os tratamentos irrigados efluentes domésticos, constatando-se diferença apenas destes em relação ao tratamento  $\text{A}_4$  (Tabela 12).

Tabela 11. Resumo da análise de variância para elementos solúveis: cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ), do solo irrigado com efluentes domésticos, aos 77 e 98 DAS.

Fonte de variação	G.L.	77 DAS				98 DAS			
		$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
Valores de F									
Bloco	3	1,55 <sup>n.s.</sup>	0,48 <sup>n.s.</sup>	5,69 <sup>**</sup>	13,15 <sup>**</sup>	2,91 <sup>n.s.</sup>	1,38 <sup>n.s.</sup>	0,21 <sup>n.s.</sup>	1,96 <sup>n.s.</sup>
Águas (A)	3	3,66 <sup>n.s.</sup>	1,73 <sup>n.s.</sup>	21,08 <sup>**</sup>	3,38 <sup>n.s.</sup>	2,39 <sup>n.s.</sup>	3,03 <sup>n.s.</sup>	5,35 <sup>*</sup>	3,01 <sup>n.s.</sup>
Lâmina (L)	1	0,004 <sup>n.s.</sup>	0,91 <sup>n.s.</sup>	1,53 <sup>n.s.</sup>	0,97 <sup>n.s.</sup>	0,76 <sup>n.s.</sup>	0,24 <sup>n.s.</sup>	1,01 <sup>n.s.</sup>	0,26 <sup>n.s.</sup>
A x L	3	1,88 <sup>n.s.</sup>	1,33 <sup>n.s.</sup>	2,07 <sup>n.s.</sup>	0,07 <sup>n.s.</sup>	0,43 <sup>n.s.</sup>	0,001 <sup>n.s.</sup>	0,89 <sup>n.s.</sup>	0,07 <sup>n.s.</sup>
Erro (a)	9								
Camada (C)	2	17,96 <sup>**</sup>	14,89 <sup>**</sup>	2,04 <sup>n.s.</sup>	17,27 <sup>**</sup>	14,87 <sup>**</sup>	16,88 <sup>**</sup>	9,31 <sup>**</sup>	8,91 <sup>**</sup>
A x C	6	0,35 <sup>n.s.</sup>	1,37 <sup>n.s.</sup>	0,36 <sup>n.s.</sup>	0,33 <sup>n.s.</sup>	1,85 <sup>n.s.</sup>	1,41 <sup>n.s.</sup>	1,96 <sup>n.s.</sup>	0,69 <sup>n.s.</sup>
L x C	2	1,18 <sup>n.s.</sup>	0,39 <sup>n.s.</sup>	0,06 <sup>n.s.</sup>	0,14 <sup>n.s.</sup>	1,10 <sup>n.s.</sup>	0,57 <sup>n.s.</sup>	3,90 <sup>n.s.</sup>	0,18 <sup>n.s.</sup>
A x L x C	6	0,67 <sup>n.s.</sup>	1,32 <sup>n.s.</sup>	0,76 <sup>n.s.</sup>	0,94 <sup>n.s.</sup>	1,30 <sup>n.s.</sup>	0,66 <sup>n.s.</sup>	0,63 <sup>n.s.</sup>	0,21 <sup>n.s.</sup>
Erro (b)	60								
CV (a)		56,26	61,15	54,18	36,32	55,15	53,25	44,18	52,31
CV (b)		55,42	55,12	42,07	54,64	58,20	53,60	53,60	54,83
Média		2,29	1,62	5,18	0,61	2,97	1,76	3,98	0,59

Prof. - profundidade do solo; n.s., \*\* e \* - respectivamente, não significativo, significativo 1% e a 5% de probabilidade.

Com relação às camadas do solo, observou-se nas duas épocas de avaliação, maior acúmulo de cátions solúveis na camada de 0-0,2 m, exceto para o teor de  $\text{Na}^+$  aos 77 DAS, que não houve diferença significativa nas camadas avaliadas. Entretanto, verifica-se que em média os teores de  $\text{Na}^+$  observados aos 98 DAS foram inferiores aos obtidos aos 77 DAS em 23,2%, fato este que comprova a importância da precipitação pluviométrica no controle natural do sódio solúvel, quando se utiliza águas de baixa qualidade na irrigação, diminuindo em parte os efeitos da sodificação deste solo (Tabela 12).

Tabela 12. Teste de comparação de média para os fatores tipos de água e camadas de solo nos elementos cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) obtidos do extrato de saturação do solo, cultivado com girassol aos 77 e 98 DAS. Ibimirim-PE, 2011.

Fatores	77 DAS				98 DAS			
	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>								
Tipos de água								
A <sub>1</sub> -UASB	2,09 a	1,76 a	5,16 b	0,59 a	2,13 a	1,41 b	4,45 a	0,56 a
A <sub>2</sub> - RD + FA	2,66 a	1,75 a	6,37 b	0,69 a	3,96 a	2,23 a	5,02 a	0,63 a
A <sub>3</sub> - FA	2,9 a	1,83 a	8,24 a	0,65 a	3,65 a	2,15 a	4,63 a	0,73 a
A <sub>4</sub> - água potável	1,49 a	1,15 a	0,96 c	0,49 a	2,15 a	1,27 b	1,83 b	0,43 a
Camada (m)								
0 - 0,20	3,68 a	2,33 a	6,21 a	0,89 a	5,51 a	3,09 a	5,02 a	0,85 a
0,20 - 0,40	1,36 b	1,29 b	4,61 a	0,44 b	2,04 b	1,13 b	4,25 a	0,46 b
0,40 - 0,60	1,82 b	1,25 b	4,73 a	0,49 b	1,38 b	1,08 b	2,67 b	0,45 b

Médias seguidas de mesma letra (entre linhas), não diferem significativamente pelo teste Skott Knott a 5%.

## CONCLUSÕES

A utilização de efluentes permitiu incrementos nos teores de P, Mg e K extraível, como também a manutenção dos teores de COT do solo sendo estes importantes elementos para uma agricultura sustentável;

Dentre os tratamentos para o esgoto bruto, de maneira geral, a utilização do reator UASB, proporcionou em média valores mais baixos de  $\text{Na}^+$  total extraível, PST, como também menores cátions solúveis, refletindo também na salinidade do solo (CEes).

A irrigação com efluentes domésticos proporcionou elevação dos teores de  $\text{Na}^+$  no solo refletindo diretamente na RAS e PST do solo, sendo necessário um monitoramento dessas variáveis após o período chuvoso, de forma a manter a sustentabilidade do cultivo quando se utiliza com esses tipos de águas;

A fração de lixiviação proporcionou efeito apenas para os teores totais extraídos das variáveis K e Na;

A irrigação com efluentes domésticos proporcionou uma tendência de aumento dos teores solúveis de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , principalmente na camada de 0 - 0,20 m refletindo diretamente na salinidade do solo (CEes).

## REFERÊNCIAS

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater**. 21th. ed. New York: APHA. 2005.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**: FAO (56), Irrigation and Drainage Paper. Rome, 300p. 1998.

AYERS, R.S.; WESTCOOT, D.W. **A qualidade de água na agricultura**. Trad. GHEYI, H. MEDEIROS, J. F.; DAMACENO, F.V., Campina Grande, UFPB, 218p. 1991.

BOND, W.J. Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.543-555, 1998.

BOUWER, H.; CHANEY, R.L. Land treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**, v.26, p.133-176, 1974.

BRAZ, M.R.S.; ROSSETTO, C.A.V. Acúmulo de nutrientes e rendimento de óleo em plantas de girassol influenciados pelo vigor dos aquênios e pela densidade de semeadura. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.1193-1204, 2010.

COSTA, C.N.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. **Fundamentos de química do solo**. 2ª. Ed. MEURER, E.J. (Ed.). Porto Alegre: Gênese, 2004.

COSTA, J.P.V.; BARROS, N.F.; BASTOS, A.L.; ALBUQUERQUE, A.W. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.56-62, 2009.

DAMASCENO, L.M.O.; ANDRADE JÚNIOR, A.S., GHEYI, H.R., DIAS, N.S.; SILVA, C.O. Composição nutricional foliar da gérbera irrigada com efluente doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v.24, p.121-128, 2011.

DUARTE, A.S.; AIROLDI, R.P.S.; FOLEGATTI, M.V.; BOTREL, T.A. SOARES, T.M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.302-310, 2008.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Sources, treatment, processes and uses of sewage effluent. In: FEIGIN, A.; RAVINA, I. SHALHEVET, J. (Ed.). **Irrigation with treated sewage effluent**. Berlin: Springer-Verlag, cap. 2, p. 3-33, 1991.

FRIEDMAN, H.N.; BERNSTEIN, M.; BRUNER, I.; ROT, Z.; BEN-NOON, A.; ZURIEL, R.; ZURIEL, S.; FINKELSTEIN, N.; UMIEL; HAGILANDI, A. Application of secondary-treated effluents for cultivation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and celosia (*Celosia argentea* L.) as cut flowers. **Scientia Horticulturae**. v.115, p.62-69, 2007.

FONSECA, A.F.; HERPIM, U.; PAULA, A.M.; VICTÓRIA, R.L.; MELFI, A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, v.64, p.194-209, 2007.

GLOAGUEN T.V.; FORTI, M.C.; LUCAS, Y.; MONTES, C.R.; GONÇALVES, R.A.B.; HERPIN, U.;MELFI, A.J. Soil solution chemistry of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**. v.88, p.119-131. 2007.

HESPANHOL, I. Viabilidade de um AVAD(\*) não superior a 10-4 por pessoa por ano, para reuso agrícola de água, em países em desenvolvimento. **Ambi-Água**, v.4, p.124-134, 2009.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface drip of residential effluent: I. soil chemical characteristics. **Transaction of the ASAE**, v.44, p.1149-1157, 2001.

KIZILOGLU, F.M.; TURAN, M.; SAHIN, U.; KUSLU, Y.; DURSUN, A. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. **Agricultural Water Management**, v.95, p.716-724, 2008.

LEAL, R.M.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F.; FIRME, L.P.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, v.96, p.307-316, 2009.

MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T.; SOUZA, J.A.A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.603-612, 2005.

MENDONÇA, E.S.; ROWELL, D.L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sobre cerrado e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.295-303, 1994.

MYERS, R.J.K.; CAMPBELL, C.A.; WEIER, K.L. Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.62, p.111-124, 1982.

PAPADOPOULOS, I.; STYLIANOU, Y. Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater. **Agriculture Water Management**. v.19, p.67-75.1991.

PEREIRA, B.F.F.; HE, Z.L.; SILVA, M.S.; HERPIN, U.; NOGUEIRA, S.F.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Reclaimed wastewater: Impact on soil-plant system under tropical conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v.192, p.54-61, 2011.

PINTO, M.C.K.; CRUZ, R.L.; FRIGO, E.P.; FRIGO, M.S.; HERMES, E. Contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio devido à irrigação com efluente do tratamento de esgoto. **Irriga**, v.18, p.270-281, 2013.

RAMALHO FILHO, A.; PÉREZ, D.V.; AMARAL, F.C.S.; TAVARES, S.R.L. Parâmetros do sistema relacionados à qualidade e custo de captação da água para irrigação. In: AMARAL, F.C.S. do. **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na região semiárida**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005, cap. 4, p.73-82.

RIBEIRO, M.R.; BARROS, M.F.C.; FREIRE, M.B.G.S. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F.(ed.). **Química e mineralogia do solo**. Parte II - Aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.449-484. 2009.

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A. Solos halomórficos no Brasil: ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L.R.G.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.V.H. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. v.3. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.165-208. 2003.

RICHARDS, L.A. (ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA. Agriculture Handbook, 60

RICCI, A.B.; PADOVANI, V.C.R.; PAULA JÚNIOR, D.R. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado. I – Atributos físicos e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.535-542, 2010.

SANDRI, DELVIO; MATSURA, E.E; TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.755-764, 2009.

SOUZA, A.; ARIAS, C.A.A.; OLIVEIRA, M.F.D.; CASTIGLIONI, V.B.R. Selection of sunflower cultivars for boron efficiency using nutrient solution. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.3, p.125-132, 2003.

STANFORD, G.; EPSTEIN, E. Nitrogen mineralization-water relations in soils nitrogen mineralization-water relations in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.38, p.103-107, 1974.

STEWART, H.T.L.; HOPMANS, P.; FLINN, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.63, p.155-177, 1990.

TRANI, P. E. Hortaliças folhosas e condimentos. In: PEREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; van RAIJ,B.; ABREU, C.A. (ed). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, p.293-510. 2001.

USSL STAFF - United States Salinity Laboratory. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1954. 160p. Handbook 60.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**: wastewater use in agriculture. Geneva: WHO, United Nations Environmental Program, United Nations Food and Agriculture Organization, 2006, 196p.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.19, p.1467-1476, 1988.

ZOBIOLE, L.H.S.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.425-433, 2010.

## **CAPÍTULO V**

---

### **DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO UTILIZANDO EFLUENTE DOMÉSTICO**

## **DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO UTILIZANDO EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO**

### **RESUMO**

Objetivou-se estudar o efeito da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento. O experimento foi conduzido em uma Unidade-Piloto de Tratamento de Esgoto localizado na cidade de Ibimirim Estado de Pernambuco. Foram utilizados para irrigação da cultura do girassol cv. H250, águas provenientes de três tipos de tratamento de esgoto bruto (A<sub>1</sub> - reator UASB; A<sub>2</sub> - Decanto digestor + filtro anaeróbio; A<sub>3</sub> - filtro anaeróbio) e A<sub>4</sub> - água potável (testemunha). O sistema de irrigação foi composto por uma motobomba de eixo horizontal com potência de 0,5 cv, filtro de discos de 120 mesh, e válvulas reguladoras de pressão de 10,5 mca. Foram realizadas seis avaliações do sistema de irrigação durante o ciclo. Concluiu-se que a utilização de águas residuárias de origem doméstica proporcionou uma uniformidade de distribuição de água que foi classificada entre boa e excelente durante um ciclo de cultivo de girassol com aproximadamente 100 dias; mesmo havendo redução da vazão dos gotejadores ao longo do tempo, esta aconteceu de maneira uniforme em todos os tratamentos, dessa forma, avaliações de sistema de irrigação devem ser utilizadas de forma rotineira no manejo da irrigação, como ferramenta de ajuste do tempo de operação do sistema de irrigação.

**Palavras-chave:** uniformidade de distribuição; eficiência do tratamento, reusode água

## **PERFORMANCE OF A DRIP IRRIGATION SYSTEM USING DOMESTIC WASTEWATER**

### **ABSTRACT**

Aimed to study the effect of treated sewage treated in the performance of a system of drip irrigation. An experiment was conducted in a pilot sewage treatment plant located in the Ibimirim state of Pernambuco. In irrigation of sunflower cv. H250, water from three types of treatment of sewage (A<sub>1</sub> - UASB, A<sub>2</sub> - digester decanto + anaerobic filter; A<sub>3</sub> - anaerobic filter) and A<sub>4</sub> - supply water (control). The irrigation system consisted of a pump with horizontal axis of 0.5 hp disc 120 mesh filter and pressure regulating valves of 10,5 mca. Six evaluations of the irrigation system were performed during the cycle. It can be concluded that the use of wastewater provided a uniformity of distribution of water classified as good and excellent during one cycle of approximately 100 days of cultivation, even with a reduction in the flow of the drippers along the time this happened uniformly in all treatments thus the irrigation system should be used check routinely in the management of irrigation, as on adjustment tool for operating time of the irrigation system.

**Keywords:** distribution uniformity, treatment efficiency, water reuse

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, vários fatores têm contribuído para o aumento do interesse pelo reuso de efluentes domésticos na irrigação, sendo mencionado o controle da poluição ambiental, a economia de água e de fertilizantes químicos, a reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola, como também o avanço do conhecimento técnico-científico em relação ao potencial de riscos e suas limitações. Entretanto, uma limitação importante que acontece nos sistemas de irrigação localizada, quando se trabalha com esse tipo de águas residuárias, é o potencial de entupimento ou incrustação (CAPRA & SCICOLONE, 2004; CAPRA & SCICOLONE, 2007; TARCHITZKY et al., 2013).

Segundo Dosoretz et al., (2011), o processo de entupimento dos dispositivos de irrigação estão relacionados a quatro mecanismos: (1) obstrução dos estreitos espaços de passagens do fluxo devido à presença de sólidos suspensos - físico, (2) concentração elevada de alguns sais causam precipitação - química, (3) a adsorção hidrofóbica devido à interação de macromoléculas orgânicas solúveis ou coloidal, e (4) formação de biofilme e crescimento das algas - biológica. Portanto a formação do entupimento se deve à ação conjunta de mais de um desses mecanismos.

A formação da obstrução ocorre devido à alta concentração de matéria orgânica dissolvida e presença de bactérias endógenas no efluente doméstico secundário, condições estas que favorecem a rápida formação de biofilmes. Neste processo, as bactérias ligadas às superfícies liberam substâncias que formam exopolímeros, cujas propriedades físicas compreendem a estrutura ao biofilme, enquanto que as propriedades fisiológicas são determinadas pelas células bacterianas. Os biofilmes exibem estruturas do tipo gel e conferem elasticidade física, o que os tornam resistentes às taxas de vazões e às forças relacionadas ao cisalhamento, portanto, a estrutura física fisiológica das colônias dos grupos de bactérias dentro do biofilme aumenta consideravelmente a sua resistência à desinfecção por produtos químicos, tais como cloro e bactericidas. Por conseguinte, o controle do crescimento de biofilmes é bem mais difícil que em pequenas colônias bacterianas individuais (DENKHAUS et al., 2007).

Capra & Scicolone (2007), afirmam que mesmo com os riscos de entupimento, a irrigação por gotejamento é o método mais eficaz para ser utilizado com águas residuárias, pois minimiza o contato entre plantas e operadores, não há formação de aerossóis, apresenta facilidade de controle da área de molhamento como também a lâmina de percolação profunda;

minimiza a percolação de nitratos, além dos fatores agrônômicos como redução de ervas daninhas e menor uso de herbicidas.

Na irrigação localizada, vários fatores podem comprometer a uniformidade de distribuição de água, tais como, a variação de fabricação, o dimensionamento inadequado do sistema e entupimentos de emissores causados por partículas minerais ou orgânicas presentes na água (VIEIRA et al., 2004). Estes problemas de entupimento estão diretamente relacionados ao pequeno diâmetro de passagem dos emissores (KELLER & BLIESNER, 1990). Uma consequência dos entupimentos dos emissores consiste na aplicação não uniforme da lâmina de irrigação planejada (CARARO et al., 2006; FRIGO et al., 2006), acarretando variabilidade no estande da cultura, e conseqüentemente, na qualidade da produção; bem como reduz a eficiência da aplicação de produtos químicos, via água de irrigação, na mesma proporção da redução de uniformidade de aplicação (BATISTA et al., 2010). Dessa forma, avaliações de uniformidade devem ser realizadas, como ferramenta de monitoramento da distribuição de água, auxiliando para possíveis alterações no sistema de irrigação, visando melhorar o desempenho do mesmo.

Diversos coeficientes são utilizados nas avaliações de desempenho, dos sistemas de irrigação (BATISTA et al., 2005; PUIG-BARGUÉS et al., 2005; CARARO et al., 2006; FRIGO et al., 2006), destacando-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o qual foi adaptado da irrigação por aspersão e segundo Mantovani (2002) pode ser utilizado os seguintes critérios para interpretação dos valores do CUC em sistema de irrigação por gotejamento: entre 90 e 100%, excelente, entre 80 e 90%, bom, entre 70 e 80%, razoável, entre 60 e 70% ruim e menor que 60%, inaceitável; Keller e Karmeli (1975) sugerem a utilização do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Merriam & Keller (1978) apresentaram o seguinte critério geral para interpretação dos valores de CUD para sistemas que estejam em operação por um ou mais anos: maior que 90%, excelente; entre 80 e 90%, bom; 70 e 80%, regular; e menor que 70%, ruim.

Alguns estudos relatam que a aplicação de águas residuárias via sistema de irrigação por gotejamento acarretam sérios problemas de obstrução dos gotejadores. Batista et al. (2006), Batista et al. (2010), avaliaram a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento com águas residuárias, em diferentes tempos de funcionamento (0, 50, 100 e 120 h) e observaram reduções significativas nos coeficientes CUC e CUD como também na vazão dos gotejadores. Silva et al. (2012) avaliaram o desempenho do sistema de irrigação utilizando gotejador Katif, da marca Plastro Brasil, com efluentes doméstico oriundo de

diferentes métodos de tratamento, e concluíram que o tratamento com decanto digestor associado a um filtro digestor apresentou melhor resultado.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho, avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento, utilizando efluentes domésticos oriundos de diferentes tipos de tratamento de esgoto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma Unidade Piloto de Tratamento de Águas Residuárias (UTAR) de origem doméstica para reusoagrícola, localizada no município de Ibimirim, PE, a 330 km de Recife. A UTAR capta o esgoto “in natura” de um sistema de esgotamento condominial que atende a 500 habitações com vazão média de aproximadamente 450.000 L.dia<sup>-1</sup>. Na Figura 1, está apresentado o croqui da área experimental com o sistema de tratamento utilizado e instalações de coleta.

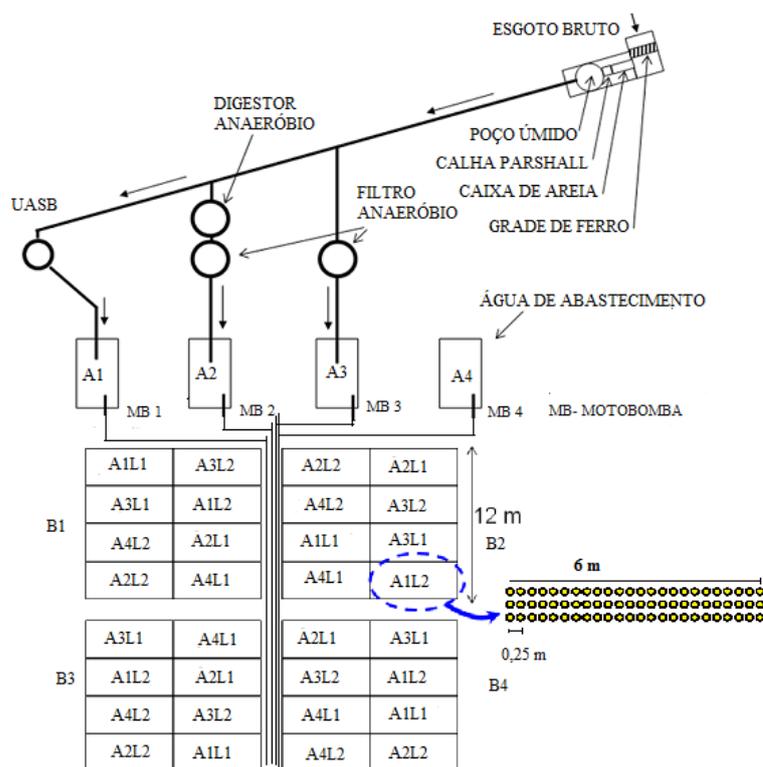


Figura 1. Instalações de coleta e tratamento de esgoto doméstico e croqui da área experimental. Ibimirim-PE, 2011.

O tratamento preliminar foi composto por grade de barras, caixa de areia e calha Parshall, após este processo, o esgoto bruto seguiu para um poço úmido e foi bombeado para os sistemas de tratamento, primário e/ou secundário, conforme a configuração de cada

tratamento: A<sub>1</sub> - reator UASB adaptado - efluente doméstico secundário (EDS), A<sub>2</sub> - decanto digestor, associado a um filtro anaeróbio - efluente doméstico secundário (EDS), A<sub>3</sub> - filtro anaeróbio - efluente doméstico primário (EDP), A<sub>4</sub> - água de abastecimento (testemunha), em seguida os efluentes foram armazenados em reservatórios independentes, de onde foram bombeados via sistema de irrigação até a área cultivada.

Utilizou-se para a condução do experimento, a cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) com uma área plantada de 432 m<sup>2</sup>, no espaçamento de 0,25 x 1,0 m. Foi utilizado um sistema de irrigação por gotejamento, cujo cabeçal de controle foi composto por moto-bomba centrífuga de eixo horizontal (Schneider) com potência de 0,5 cv, ligados por tubos de PVC rígido com 32 mm de diâmetro nominal tanto na sucção como no recalque, também foram utilizados filtros de disco de 120 mesh, registros e válvulas reguladoras de pressão de 10,5 mca. Nas linhas de derivação foram utilizados tubos de polietileno de média densidade com 25 mm de diâmetro nominal e para as linhas laterais utilizou-se tubos gotejador de polietileno da baixa densidade de 16 mm de diâmetro nominal, com vazão nominal de 4,0 L h<sup>-1</sup> com emissores espaçados a 0,33 m.

O experimento foi instalado em delineamento experimental com blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2. Os tratamentos consistiram da utilização de quatro tipos de águas, três foram obtidas por diferentes processos de tratamento do esgoto bruto (A<sub>1</sub> - reator UASB; A<sub>2</sub> - decanto digestor + filtro anaeróbio; A<sub>3</sub> - filtro anaeróbio) e A<sub>4</sub> - água de abastecimento (testemunha) e 2 lâminas de irrigação, sendo L<sub>1</sub> - igual à evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), e L<sub>2</sub> - 1,2ET<sub>c</sub>, ou seja, foi aplicado uma fração de lixiviação adicional de 0,2, objetivando estudar o efeito dos efluentes na uniformidade de distribuição do sistema de irrigação.

As medições de vazão, foram realizadas aos 7, 18, 32, 58, 67 e 101 dias após a semeadura (DAS), selecionando ao longo da linha gotejadora 3 emissores localizados no início, meio e fim, em cada parcela, já que esta possuía apenas 6 m de comprimento. Foram determinados os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) (MANTOVANI, 2002); o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) (KELLER & KARMELI, 1975) e o Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE) (WILCOX & SWAILES, 1947), que foram calculados pelas Eqs. 1, 2 e 3.

$$CUC = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right) \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

CUC - expresso em porcentagem (%)

$i$  - vazão de cada gotejador,  $L h^{-1}$

$\bar{X}$  - vazão média dos gotejadores,  $L h^{-1}$

$N$  - número de gotejadores;

$$CUD = 100 \cdot \frac{\bar{X}_{25}}{\bar{X}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

CUD - expresso em porcentagem (%)

$\bar{X}_{25}$  - lâmina média de 25% dos coletores com as menores precipitações,  $L h^{-1}$

$\bar{X}$  - lâmina média das aplicada,  $L h^{-1}$

$$CUE = 100 \cdot \left( 1 - \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|^2}{n}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

CUE - expresso em porcentagem (%)

Onde (S) é o desvio-padrão dos dados de precipitação, determinado pela Equação (4)

$\bar{X}_i$  - vazão de cada gotejador,  $L h^{-1}$

$\bar{X}$  - vazão média das aplicada,  $L h^{-1}$

$n$  - número de gotejadores;

Para determinação dos coeficientes utilizou-se dados dos quatro blocos, totalizando 12 amostras por tratamento para cada época de avaliação. Com os dados de vazão, realizou-se análise de variância ( $p < 0,05$ ), considerando o tempo como parcelas subdivididas. Para os fatores significativos, realizou-se desdobramento para cada tipo de água em cada tempo aplicando o teste de Skott Knott ao nível de probabilidade de 0,05, como também análise de regressão para os tipos de águas e as lâminas de irrigação em função do tempo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, estão ilustrados os valores de CUC (a, b), CUD (c, d) e CUE (e, f) obtidos ao longo do período de avaliação tanto para os tipos de água como para as lâminas de irrigação  $L_1$  e  $L_2$ . Observou-se que os valores de CUC, CUD e CUE do sistema de irrigação

foram classificados entre bom e excelente conforme classificações propostas por Mantovani (2002); Keller & Karmeli (1975) e Merriam & Keller (1978). Segundo Puig-Bargues et al., (2005), quanto maior o valor do CUC, menor a lâmina de irrigação necessária para alcançar produtividade máxima e, Bernardo et al. (2006), afirmam que o limite mínimo de CUC aceitável em sistema de irrigação por gotejamento é de 80%.

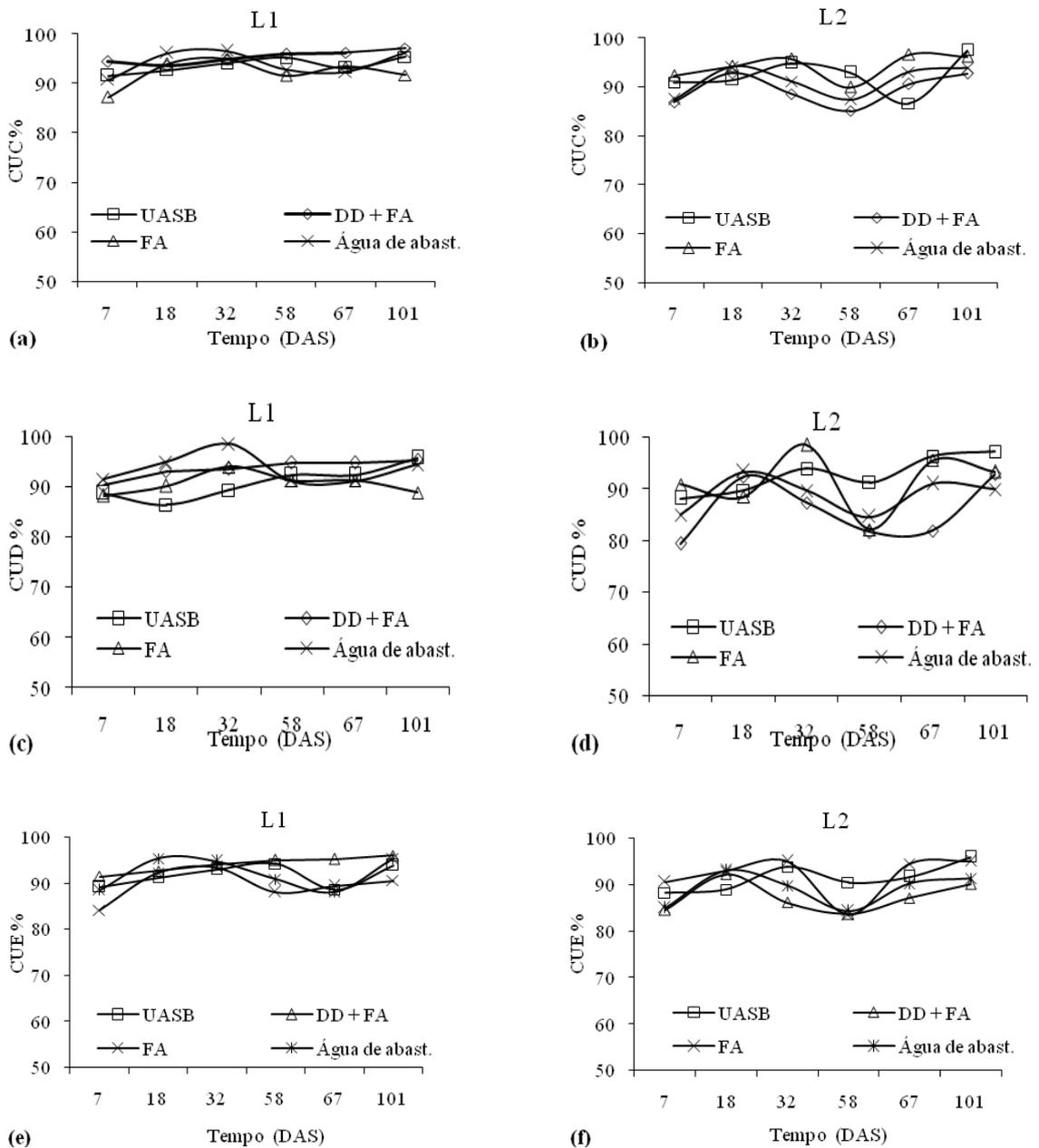


Figura 2. Valores do CUC (a, b), CUD (c, d), e CUE (e, f) obtidos ao longo do tempo (DAS), de sistema de irrigação por gotejamento abastecido com efluentes doméstico tratado por UASB, DD + FA, FA, e água de abastecimento, sob duas lâminas de irrigação L<sub>1</sub> = ETC, e L<sub>2</sub> - 1,2ETC. Ibimirim- PE, 2011.

A utilização de efluentes domésticos tratados por UASB, DD + FA, ou simplesmente por FA por um período de aproximadamente 101 dias, sob condições experimentais não comprometeu o desempenho do sistema de irrigação.

Os tratamentos com a lâmina 20% superior (L<sub>2</sub>) apresentaram maior oscilação dos coeficientes avaliados, principalmente do CUD, esse desempenho pode ser atribuído em parte, ao maior tempo de operação deste tratamento, e conseqüentemente maior tendência de incrustações nas paredes internas do tubo gotejador. Contudo, na última avaliação aos 101 dias após a semeadura (DAS), os tratamentos com efluentes, mesmo utilizando L<sub>2</sub>, apresentaram CUD superior a 90%, confirmando a eficiência do sistema de tratamento de esgoto e sistema de filtragem para operação do sistema de irrigação. Quanto à vazão dos emissores, observou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) para a interação entre os fatores tipos de águas no tempo e lâminas de irrigação no tempo (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância para vazão de emissores em sistema de irrigação utilizando diferentes tipos de águas (A<sub>1</sub>- UASB, A<sub>2</sub>- DD + FA; A<sub>3</sub>- FA e A<sub>4</sub> - água de abastecimento) e lâminas de irrigação ao longo do tempo (DAS). Ibimirim, 2011.

Fonte de variação	G.L.	Vazão
		Quadrado médio
Bloco	3	2,371**
Águas	3	0,377 <sup>n.s.</sup>
Lâminas	1	0,313 <sup>n.s.</sup>
Águas x Lâminas	3	0,007 <sup>n.s.</sup>
Erro (A)	9	0,1607
Parcelas	19	
Tempo	5	4,712**
Água x Tempo	15	0,325**
Lâminas x Tempo	5	0,264**
Erro (B)	147	6,18
Total	191	
CV (A)		12,26
CV (B)		6,83
Média		3,27

<sup>n.s.</sup>, \*\* e \* - respectivamente, não significativo, significativo 1% e a 5 % de probabilidade.

Através do desdobramento dos fatores tipos de águas e tempo, observou-se diferença significativa entre os tipos de águas, apenas no tempo 18 e 32 DAS, onde aos 18 DAS o

tratamento A<sub>1</sub> apresentou menor vazão média 3,12 Lh<sup>-1</sup>. Já aos 32 DAS a menor vazão 2,59 Lh<sup>-1</sup> foi observada no tratamento A<sub>2</sub>, diferindo estatisticamente (p<0,05) pelo teste Skott Knott em relação aos demais tratamentos. A alternância na redução das vazões médias dos emissores, em função dos tratamentos, descarta a hipótese de que a redução de vazão ocorreu por consequência da redução no orifício do emissor, causada por entupimento.

Tabela 2. Média de vazão de gotejadores por tratamento de efluentes e épocas de avaliação. Ibimirim-PE, 2011.

Tratamentos	7	18	32	58	67	101
	Vazão do gotejador (L h <sup>-1</sup> )					
A <sub>1</sub> - UASB	3,96 aB	3,12 aA	3,18 bA	3,23 aA	3,13 aA	3,08 aA
A <sub>2</sub> - RD + FA	4,05 aD	3,60 bC	2,59 aA	3,04 aB	2,81 aA	2,77 aA
A <sub>3</sub> - FA	3,93 aC	3,39 bB	3,40 bB	2,95 aA	3,06 aA	2,99 aA
A <sub>4</sub> - água potável	3,94 aD	3,65 bC	3,32 bB	3,22 aB	3,08 aA	2,91 aA

Médias seguidas pela mesma letra (minúscula entre linhas e maiúsculas entre colunas), não diferem entre si, pelo teste Skott Knott a 5% de probabilidade;

As diferenças de vazão observadas entre tratamentos nas avaliações realizadas aos 18 e 32 DAS, possivelmente ocorreram em função de variações de alturas geométricas de sucção causadas pela mudança de nível da água nos tanques de armazenamento. Assim, com a finalidade de reduzir tal interferência aos 35 DAS foram instaladas válvulas reguladoras de pressão na linha principal de todos os tratamentos, diminuindo com isso possíveis oscilações na altura manométrica do sistema, estabilizando dessa forma a vazão dos emissores entre os tipos de águas nas três avaliações seguintes.

No desdobramento do fator tempo dentro dos tipos de água (letras maiúsculas, na linha), observou-se uma tendência de redução da vazão dos emissores, sendo estas de 22,22% (A<sub>1</sub>), 24,96% (A<sub>3</sub>), 26,14% (A<sub>4</sub>) e 31,6% (A<sub>2</sub>), ou seja, há uma tendência de redução da vazão dos emissores independentemente do tipo de água utilizado, seja efluente ou água potável. Ravacha et al. (1995) verificaram diminuição de 68% na vazão nominal de gotejadores abastecidos com esgoto doméstico tratado 60 horas após início de operação. Batista et al. (2010), trabalhando com efluentes tratados por rampa de escoamento cultivado com capim Tifton 85 seguido por lagoa de maturação, após 120 h de funcionamento do sistema de irrigação, observaram redução de apenas 4,56% na vazão dos emissores.

Constata-se, portanto, a importância das avaliações de distribuição de água nos sistemas de irrigação por gotejamento, como uma ferramenta fundamental, para se ajustar o tempo de

acionamento do sistema de irrigação, para garantir a lâmina de irrigação planejada para a cultura, caso contrário pode ocorrer perdas de produtividade.

Foram ajustadas equações de regressão para os valores de vazão ao longo do tempo, tanto para os tipos de água, como também para as lâminas de irrigação, sendo o modelo quadrático o que melhor se ajustou aos dados. Por meio dos modelos, foi estimado o tempo que correspondeu à maior vazão dos gotejadores, e em seguida estimou-se esta vazão para cada tratamento, cujos valores encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para vazão (Q) em L h<sup>-1</sup> em função do tempo (T) em DAS, com os respectivos coeficientes de determinação para tipos de água e lâminas de irrigação bem como, estimativa do tempo que ocorreu as maiores vazões.

Tipos de águas	Equação	R <sup>2</sup>	T (DAS)	Q máx.
A <sub>1</sub> - UASB	$Q = 3,810 - 0,021^{**}T + 0,0001^{**}T^2$	0,54	14	3,53
A <sub>2</sub> - DD + FA	$Q = 4,148 - 0,039^{**}T + 0,0002^{**}T^2$	0,71	14	3,64
A <sub>3</sub> - FA	$Q = 4,005 - 0,027^{**}T + 0,0002^{**}T^2$	0,90	12	3,72
A <sub>4</sub> - água abast.	$Q = 4,028 - 0,021^{**}T + 0,0001^{**}T^2$	0,96	14	3,74
Lâminas de irrigação				
L <sub>1</sub>	$Q = 3,798 - 0,021^{**}T + 0,000^{**}T^2$	0,85	14	3,51
L <sub>2</sub>	$Q = 4,198 - 0,033^{**}T + 0,0002^{**}T^2$	0,88	13	3,81

<sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> - significativo a 1% e a 5 % de probabilidade, respectivamente.

Por meio dos modelos obtidos, observa-se para todos os tipos de águas e lâminas de irrigação que a vazão máxima dos emissores foi obtida nos primeiros 14 DAS, a partir deste período há uma tendência de redução da vazão justificada pelo acúmulo de impurezas e diminuição do espaço de passagem do fluxo de água. Este fato é agravado quando são utilizados efluentes que possuam altos teores de sólidos suspensos e bactérias formadoras de biofilme (RIBEIRO et al., 2005; CARARO & BOTREL, 2007).

Puig-Bargués et al. (2010) obtiveram o CUD em gotejadores sob funcionamento com águas residuárias terciárias urbanas diferentes épocas de avaliação, início, 540 e 1620 horas de operação e verificaram redução do CUD de 95,1% para 94,2 e 76,0%, respectivamente.

Baumgartner et al. (2007) trabalhando com efluentes de lagoa de estabilização de dejetos suínos diluídos na proporção 1:65 após 200 de funcionamento obtiveram CUC de 74,05%. Thebaldi et al., (2013) avaliando a uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial utilizando três tipos de água (água residuária tratada

proveniente de abate de bovinos, fertirrigação convencional e água natural de um córrego) na cultura do tomate após um ciclo de 90 dias, observaram que houve maior redução dos valores de CUC, CUD e CUE na irrigação com água residuária e gotejamento enterrado e mesmo assim, após os coeficientes foram classificados entre bom e excelente para a maioria dos tratamentos, da mesma forma que no presente trabalho.

Ainda que o sistema de irrigação apresente uniformidade de distribuição de água entre bome excelente, as avaliações do sistema devem ser rotineiras, para que se efetuem medidas de ajuste no manejo da irrigação, e as plantas não sofram estresse hídrico, já que há uma tendência comum de redução da vazão dos emissores a partir dos 15 DAS quando se utiliza irrigação por gotejamento.

As maiores produtividades de aquênios foram observadas com os tratamentos A<sub>2</sub> (3.644,4 kg ha<sup>-1</sup>) e A<sub>3</sub> (3.462,2 kg ha<sup>-1</sup>), seguido em ordem decrescente por A<sub>1</sub> (2.769,2 kg ha<sup>-1</sup>) e A<sub>4</sub> (1.677,5 kg ha<sup>-1</sup>). Desta forma, observou-se um aumento médio 96,24% na produtividade de aquênios de girassol, em virtude da utilização do efluente doméstico. Observou-se também efeito significativo para o fator lâmina de irrigação L<sub>1</sub> (3.095,9 kg ha<sup>-1</sup>) e L<sub>2</sub> (2.680,7 kg ha<sup>-1</sup>). A justificativa para L<sub>2</sub> ter apresentado menor produtividade pode estar relacionado ao aumento do potencial osmótico do solo decorrente da maior quantidade de sais aplicados com L<sub>2</sub>.

## CONCLUSÕES

A utilização de águas residuárias de origem doméstica não proporcionou redução na uniformidade de distribuição de água em condições experimentais, que foi classificada entre boa e excelente durante o ciclo de cultivo de girassol com aproximadamente 100 dias.

Observou-se redução da vazão dos gotejadores ao longo do tempo, mas esta aconteceu de maneira uniforme em todos os tratamentos, dessa forma, recomenda-se a realização de avaliações de vazão como procedimento rotineiro no manejo da irrigação, de forma a ajustar o tempo de operação do sistema de irrigação.

## REFERÊNCIAS

- BATISTA, R.O.; SOARES, A.A.; MATOS, A.T.; MANTOVANI, E.C. Efeito do efluente de lagoa de maturação em gotejadores com e sem tratamento químico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.62-65, 2005.
- BATISTA, R.O.; SOUZA, J.A. R.; FERREIRA, D.C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, v.57, p.18-22, 2010.
- BATISTA, R.O.; SOARES, A.A.; MATOS, A.T.; MANTOVANI, E.C. Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento montado em campo. **Acta Sci. Technol**, v.28, p.213-217, 2006.
- BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R.; TEO, C. R. P. A.; BOAS, M. A. V. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.152-163, 2007.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 62 p.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.68, n.2, p.135-149, 2004.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, v.15, n.16, p.1529-1534, 2007.
- CARARO, D.C.; BOTREL T.A.; HILLS, D.J.; LEVERENZ, H.L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**. v.22, p.251-257, 2006.
- CARARO, D.C.; BOTREL, T.A. Uso de cloração e ar comprimido no controle do entupimento de gotejadores ocasionado pela aplicação de água residuária. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.336-345, 2007.

de BEER, D.; SRINIVASAN, R.; STEWART, P.S. Direct measurement of chlorine penetration in biofilms during disinfection. **Applied and Environmental Microbiology**, v.60, p.4339-4344, 1994.

DENKHAUS E, MESEN S, TELGHEDER U, WINGEBDER J. Chemical and physical methods for characterization of biofilms. **Microchimica Acta**, v.158, p.1-27, 2007.

DOSORETZ C, TARCHITZKY J, KATZ I, KENIG E, CHEN Y. Development and effects of a fouling layer in distribution and irrigation systems applying treated wastewater effluents. In: Levy G, Fine P, Bar-Tal A (eds). **Use of treated sewage water in agriculture: impacts on crops and soil environment**. Oxford: Blackwell Publishing, 2011. p.328-350.

FRIGO, E.P.; SAMPAIO, S.C.; FREITAS, P.S.L.; QUEIROZ, M.M.F.; NOBREGA, L.H.P.; MALLMANN, L.S. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Irriga**, v.11, p.305-318, 2006.

KELLER, J., BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation desing**. Glendora: Rain Bird Sprinklers manufacturing CORP. 133p. 1975.

MANTOVANI, E.C. AVALIA. **Manual do usuário**. Viçosa: DEA/UFV–PNP&D/café Embrapa, 2002.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 271 p. 1978.

PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. **Agricultural Water Management**, v.77, p.249-262, 2005.

RAV-ACHA C, KUMMEL M, SALAMON I.; ADINA. The effectof chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation. **Water Research**, v.29, p.119-129, 1995.

RIBEIRO, T.A.P.; AIROLDI, R.P.S.; PATERNIANI, J.E.S.; SILVA, M.J.M. Variação temporal da qualidade da água no desempenho de filtros utilizados na irrigação por

gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.450-456, 2005.

SILVA, L. P.; SILVA, M.M.; CORREA, M.M.; SOUZA, F.C.D.; SILVA, E.F.F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, p.480 - 486, 2012.

TARCHITZKY, J.; RIMON, A.; KENIG, E.; DOSORETZ, C.G.; CHEN, Y. Biological and chemical fouling in drip irrigation systems utilizing treated wastewater. **Irrigation Science**, v.31, p.1277-1288, 2013.

THEBALDI, M. S.; ROCHA, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; AVELINO NETO, S. Diferentes tipos de água e seu efeito na uniformidade de gotejadores na cultura de tomate. **Irriga**, v.18, n.2, p.212-222, 2013

VIEIRA, GUSTAVO H. S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, J. G. F.; RAMOS, M. M.; SILVA, C. M. Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.1-6, 2004.

WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, v.27, p.565-583, 1947.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sugerimos em novas pesquisas, a utilização de maior número de lâminas de irrigação de forma a obter a lâmina que minimize os efeitos deletérios de salinidade e sodicidade no solo; como também a utilização da adubação de fundação no tratamento com água de abastecimento;

A utilização de efluentes em regiões semiáridas é uma alternativa viável para ser utilizada na agricultura, entretanto é necessário a adoção de manejos como o rodízio de áreas, e o acompanhamento das características do solo de forma a tornar essa técnica sustentável;

A irrigação da cultura do girassol com efluentes domésticos na região semiárida é uma forma garantida de obtenção de boas produtividade, sendo uma alternativa de geração de renda para os pequenos produtores que tem no programa do biodiesel a garantia de escoamento da produção;

Sugerimos a continuidade de pesquisas em culturas comestíveis de forma a avaliar a contaminação microbiológica dos frutos, como também a realização de experimentos com espécies forrageiras, que poderão ser utilizadas para alimentação animal.

## APÊNDICES

A.



B.



C.



D.



Figura 1A. Capina pré-plantio (A), vista da área com sistema de irrigação (B), semeio do girassol (C, D).

A.



B.



C.



D.



E.



F.



Figura 2A. Vista da área experimental ao longo do ciclo: aos 12 DAS (A), 19 DAS (B), 29 DAS (C), 52 DAS (D), 65 DAS (E) aos 96 DAS (F).

A.



B.



C.



D.



E.



F.



Figura 3A. Monitoramento do crescimento da cultura, folhas (A), altura das plantas (B); colheita (C); material picotado (D); determinação da matéria fresca total (E); pré-secagem dos capítulos (F).

A.



B.



C.



D.



Figura 4A. Avaliação do sistema de irrigação (A); medição da faixa molhada, a 0,30 m de profundidade para determinação do KL (B); coleta de solo para avaliação nos atributos químicos do solo (C e D).