



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

## Tese de Doutorado

PRODUÇÃO DE PINHÃO MANSO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA, EM  
FUNÇÃO DE REPOSIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

MARIA BETÂNIA RODRIGUES SILVA

Campina Grande  
Paraíba



**MARIA BETÂNIA RODRIGUES SILVA**

*ENGENHEIRA FLORESTAL*

**PRODUÇÃO DE PINHÃO MANSO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA, EM  
FUNÇÃO DE REPOSIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

**IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

ORIENTADORES:

**PEDRO DANTAS FERNANDES – Doutor - UFCG/CTRN/UAEAg**

**JOSÉ DANTAS NETO – Doutor – UFCG/CTRN/UAEAg**

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

JUNHO - 2009



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCCG

S586p

2009 Silva, Maria Betânia Rodrigues.

Produção de pinhão manso irrigado com água residuária, em função de reposição da evapotranspiração / Maria Betânia Rodrigues Silva. — Campina Grande, 2009.

150 f.: il.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes, Prof. Dr. José Dantas Neto.

*Pinhão manso*  
1. Irrigação. 2. *Jatropha curcas*. 3. Oleaginosa. 4. Estresse hídrico.  
I. Título.

CDU – 626.81(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



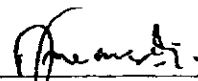
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DA DOUTORANDA

MARIA BETÂNIA RODRIGUES SILVA

PRODUÇÃO DE PINHÃO MANSO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA, EM FUNÇÃO DE  
REPOSIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

BANCA EXAMINADORA

PARECER

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Pedro Dantas Fernandes – Orientador

Aprovado

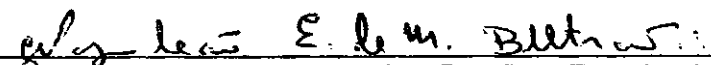
  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Dantas Neto – Orientador

APROVADO


  
\_\_\_\_\_  
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima – Examinadora

APROVADO

\_\_\_\_\_  
Dr. Ricardo Almeida Viégas – Examinador

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão – Examinador

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Lourival Ferreira Cavalcante – Examinador

APROVADO

JUNHO - 2009



### *In memória*

Dos colegas de Curso:

Aureli Nobre e Cláudia Germana, pela alegria que sempre nos transmitiram;  
e do Professor Telmo Araújo, pelas oportunidades oferecidas

### **MINHA HOMENAGEM**

### **DEDICO**

Aos meus pais, Josefa Rodrigues e Francisco Ferreira,  
fortaleza de minha vida.

Ao meu amado companheiro Joaquim Dias, pelo apoio,  
incentivo e compreensão durante essa trajetória.

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela vida e caráter que me concedeu, e pela perseverança e dedicação nos compromissos enfrentados, como também, pelas promessas cumpridas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos e pelo apoio financeiro durante a pesquisa.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, pela concessão dos dados meteorológicos.

Ao Instituto Fazenda Tamanduá – PB, pela doação das sementes de pinhão manso, necessárias na produção de mudas.

Aos orientadores Dr. Pedro Dantas Fernandes e Dr. José Dantas Neto, pelos conhecimentos repassados e pela credibilidade em minha orientação.

Aos queridos amigos Luis Nery Rodrigues e Aparecida Rodrigues Nery, pela participação na equipe de pesquisa, pela amizade, incentivo e contribuição nas atividades.

Ao professor Ricardo Almeida Viégas do Departamento de Engenharia Florestal-UFCG, pela amizade e, acima de tudo, pelo apoio oferecido durante a pesquisa.

Ao professor e amigo Dr. José Geraldo de Vasconcelos Baracuh, pelas oportunidades oferecidas em muitos momentos de minha vida.

À professora Dra. Vera Lúcia A. de Lima, pelos conhecimentos repassados e pelo carinho e confiança disponibilizada.

Aos Engenheiros Florestais e amigos de muita estimação Prof. Fábio Charão Kurtz e Prof<sup>a</sup> Silvia Margareti de Juli Morais Kurtz, por tantos momentos de alegria que tivemos, bem como, pelo estímulo para a realização desse curso.

Aos amigos e funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade, Francisco de Assis ('Doutor') e José Wilson pela dedicação nas análises laboratoriais e pela amizade. E a amiga Marlene, funcionária da UFCG, pela proveitosa convivência, amizade e apoio.

Aos colegas de turma Francisco Seixas, Gilvanise, Tarcisio Nascimento e Roberto Silvio, pela valiosa convivência e amizade.

Aos colegas Vanda Lira, Soahd Arruda, Maria Sallydelândia, Aline Costa, Frederico Antônio, Ramón, Ricardo Véras, Wagner Walker, Valneide, Euler Soares, Kaline Travassos, Joelma, Leda e Riuzzuani, pelo proveitoso convívio e incentivo.



Aos colaboradores da pesquisa: Valdinho, Juquinha, Hermann, Luciano Mendes, Renato Lima, Rafael Torres, Diego Nóbrega, Diego Miranda, José Alberto, Sebastião, Jerônimo e a todos que contribuíram na coleta dos dados experimentais.

E, finalmente, a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para o meu sucesso durante esse Curso.

## SUMÁRIO

	Página
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	x
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xiv
<b>RESUMO</b> .....	xvii
<b>ABSTRACT</b> .....	xviii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	22
2.1. Objetivo Geral.....	22
2.2. Objetivos Específicos.....	22
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	23
3.1. Descrição Botânica, Morfologia e Fisiologia do Pinhão manso.....	23
3.2. Uso e Importância Econômica da Cultura.....	24
3.3. Requerimentos Ambientais.....	26
3.3.1. Clima e Solo.....	26
3.4. Principais Produtores Mundiais e Nacionais .....	27
3.5. Evapotranspiração da Cultura.....	28
3.5.1. Coeficiente de Cultivo.....	30
3.5.2. Eficiência de Uso de Água.....	31
3.6. Qualidade da Água.....	32
3.6.1. Qualidade da Água na Agricultura.....	32
3.6.2. Água Residuária.....	35
3.7. Água Residuária - Solo - Planta.....	37
3.7.1. Água Residuária e os Problemas de Salinidade e Sodicidade.....	38
3.8. Estresse Hídrico nas Plantas.....	41
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	43
4.1. Localização da Área Experimental.....	43
4.2. Formação de Mudanças.....	43
4.3. Lisímetros e Material de Solo.....	44
4.4. Instalação do Experimento.....	47
4.5. Irrigação.....	48
4.6. Tratamentos e Delineamento Estatístico.....	49



4.7. Tratos culturais e Fitossanitários.....	50
4.8. Variáveis de Crescimento.....	51
4.8.1. Altura de Plantas (AP) e Diâmetro caulinar (DC).....	51
4.8.2. Número de Folhas (NF) e Área Foliar (AF) .....	51
4.9. Variáveis Fisiológicas.....	51
4.9.1. Taxas de Crescimento Absoluto em Altura de Plantas e Diâmetro Caulinar	51
4.9.2. Taxas de Crescimento Relativo em Altura de Plantas e Diâmetro Caulinar.	52
4.9.3. Fluorescência da Clorofila 'a' .....	53
4.10. Variáveis de Produção.....	53
4.10.1. Emissão das Primeiras Inflorescências e Número de Cachos.....	53
4.10.2. Número e Peso Médio de Frutos.....	53
4.10.3. Teor de Óleo das Sementes.....	54
4.11. Variáveis de Balanço Hídrico.....	54
4.11.1. Evapotranspiração da Cultura (ETc) .....	54
4.11.2. Consumo de Água (C.A).....	55
4.11.3. Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ETo).....	55
4.11.4. Coeficiente de Cultivo (Kc).....	57
4.11.5. Eficiência de Uso da Água (E.U.A.) .....	57
4.12. Condutividade Elétrica da Água de Drenagem (CEad).....	57
4.13. Fração de Lixiviação (FL).....	58
4.14. Análise de Fertilidade do Solo no Final do Experimento.....	58
4.15. Análises Estatísticas.....	59
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>60</b>
5.1. Variáveis de Crescimento.....	60
5.1.1. Altura de Plantas (AP) .....	60
5.1.2. Diâmetro Caulinar (DC) .....	65
5.1.3. Número de Folhas (NF) .....	70
5.1.4. Área Foliar (AF) .....	75
5.2. Variáveis Fisiológicas.....	80
5.2.1. Taxas de Crescimento Absoluto em Altura de Plantas (TCA AP).....	80
5.2.2. Taxas de Crescimento Absoluto em Diâmetro Caulinar (TCA DC) .....	84
5.2.3. Taxas de Crescimento Relativo em Altura de Plantas (TCR AP) .....	88
5.2.4. Taxas de Crescimento Relativo em Diâmetro Caulinar (TCR DC) .....	92

5.2.5. Fluorescência da Clorofila 'a' .....	95
5.3. Variáveis de Produção.....	98
5.3.1. Emissão das Primeiras Inflorescências.....	98
5.3.2. Número Médio de Cachos, Peso Médio dos Frutos e Número Médio de Frutos.....	100
5.3.3. Teor de Óleo das Sementes.....	103
5.4. Variáveis de Balanço Hídrico.....	106
5.4.1. Evapotranspiração da Cultura (ETc) .....	106
5.4.2. Consumo de Água (C.A.) .....	110
5.4.3. Consumo Total de Água (C.T.A.), Evapotranspiração Total da Cultura (ETc Total) e Evapotranspiração Média (ETc média).....	114
5.4.4. Coeficiente de Cultivo (Kc) .....	116
5.4.5. Eficiência de Uso da Água (E.U.A.) .....	118
5.5. Fertilidade do Solo ao Final do Experimento nas Profundidades de 0-10 e 10-20 cm.....	120
5.5.1. Nitrogênio Orgânico no Solo.....	121
5.5.2. Fósforo no Solo.....	122
5.5.3. Potássio Extraível no Solo.....	123
5.5.4. Cálcio e Magnésio Extraíveis no Solo.....	124
5.5.5. Sódio Extraível no Solo.....	126
5.5.6. Potencial Hidrogeniônico do Solo.....	130
5.5.7. Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação (CEes) .....	131
5.6. Condutividade Elétrica da Água de Drenagem (CEad) e Fração de Lixiviação (FL).....	134
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>136</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>138</b>



## LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade.....	33
2	Características dos efluentes domésticos secundários.....	35
3	Características químicas do solo antes e após a prática de calagem.....	46
4	Adubação de plantio realizada no substrato utilizado para o preenchimento dos lisímetros.....	46
5	Características físico-hídricas do substrato utilizado no experimento.....	47
6	Características físico-químicas da água residuária utilizada nas irrigações.....	48
7	Resumo das análises de regressão da altura de plantas do pinhão manso irrigado com água residuária aos 18, 60, 102, 144, 186, 228, 270, 312, 354 e 396 DAT.....	63
8	Resumo das análises de variância e médias da altura de plantas do pinhão manso irrigado com água residuária em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.....	63
9	Resumo das análises de regressão do diâmetro caulinar do pinhão manso irrigado com água residuária em várias épocas de avaliação.....	68
10	Resumo das análises de variância e médias do diâmetro caulinar do pinhão manso irrigado com água residuária em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.....	68
11	Resumo das análises de regressão do número de folhas do pinhão manso irrigado com água residuária, aos 18, 60, 102, 144, 186, 228, 270, 312, 354 e 396 DAT.....	73
12	Resumo das análises de variância e médias do número de folhas do pinhão manso irrigado sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração e em diversos períodos de avaliação.....	73
13	Resumos das análises de regressão para a área foliar do pinhão manso irrigado com água residuária, sob diversas condições de umidade do solo e diferentes períodos de avaliação.....	78
14	Resumos das análises de variância e médias para a área foliar do pinhão manso cultivado sob diferentes condições de umidade do solo, em vários períodos de avaliação.....	78

15	Resumos das análises de regressão para a variável taxa de crescimento absoluto em altura de plantas, em diversos períodos e em função de diferentes teores de umidade do solo.....	82
16	Resumos das análises de variância e médias para a variável taxa de crescimento absoluto em altura de plantas do pinhão manso nos períodos de em nove períodos (18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 DAT).....	82
17	Resumos das análises de regressão para a variável taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar de pinhão manso, sob condições de diferentes níveis de reposição da ETc, em diversos períodos de avaliação.....	86
18	Resumos das análises de variância e médias para a variável taxa de crescimento absoluto em DC de pinhão manso, em função de diferentes níveis de reposição da ETc, em vários períodos de observação.....	86
19	Resumos das análises de regressão para a taxa de crescimento relativo em altura de plantas de pinhão manso, em função de diferentes níveis de reposição da ETc, em vários períodos estudados.....	90
20	Resumos das análises de variância e médias para a variável taxa de crescimento relativo em altura de plantas de pinhão manso, em função de diferentes níveis de reposição da ETc, em vários períodos estudados.....	90
21	Resumos das análises de regressão para a TCR DC do pinhão manso irrigado sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, em diversos períodos de avaliação.....	93
22	Resumos das análises de variância e médias para a variável taxa de crescimento relativo em diâmetro caulinar do pinhão manso irrigado sob diferentes níveis de reposição da ETc, em nove períodos de avaliação.....	93
23	Resumos das análises de regressão para a eficiência quântica do fotossistema II - Fv/Fm; relação Fv/Fo do pinhão manso aos 90 DAT, 140 DAT e 396 DAT....	96
24	Resumos das análises de variância e médias para a eficiência quântica do fotossistema II – Fv/Fm; relação Fv/Fo do pinhão manso aos 90, 140 e 396 DAT	97
25	Resumo das análises de regressão da emissão das três primeiras inflorescências do pinhão manso, cultivado em função de diferentes níveis de umidade do solo.....	99

26	Resumo das análises de variância e médias da emissão das três primeiras inflorescências do pinhão manso cultivado em função de diferentes níveis de umidade do solo.....	99
27	Resumos das análises de regressão para as variáveis número médio de cachos, peso médio das sementes, peso médio de frutos e número médio de frutos, durante a produção.....	102
28	Resumos das análises de variância e médias para as variáveis número de cachos, peso médio dos frutos e número médio de frutos, durante a produção.....	102
29	Resumos das análises de regressão para o teor de óleo das sementes aos 249 e 396 DAT, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.....	104
30	Resumos das análises de regressão e médias para o teor de óleo das sementes aos 249 e 396 DAT, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.....	105
31	Resumos das análises de regressão da ETc (mm dia <sup>-1</sup> ) das plantas de pinhão manso nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 dias após o transplantio.....	108
32	Resumos das análises de variância e médias da evapotranspiração da cultura, nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 dias após o transplantio.....	108
33	Resumos das análises de regressão para o consumo de água (C.A.) em litros, das plantas de pinhão manso nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 dias após o transplantio.....	112
34	Resumos das análises de variância e médias do consumo de água (C.A.), das plantas de pinhão manso nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 DAT.....	112
35	Resumos das análises de regressão para o consumo total de água (C.T.A.), evapotranspiração total da cultura (ETc Total), evapotranspiração média (ETc média) do pinhão manso durante o período de 18 e 396 DAT.....	115
36	Resumos das análises de variância e médias do consumo total de água (C.T.A.), evapotranspiração total da cultura (ETc Total), evapotranspiração média (ETc média) do pinhão manso entre 18 e 396 DAT.....	115
37	Valores do coeficiente de cultivo (Kc) do pinhão manso irrigado com água residuária, em função de 100% de reposição da evapotranspiração.....	117

38	Resumos das análises de regressão para a eficiência de uso de água do pinhão manso.....	119
39	Resumos das análises de variância e médias da eficiência de uso de água do pinhão manso.....	119
40	Resumos das análises de regressão para N, P, K, Ca, Mg e Na, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, aos 396 DAT.....	128
41	Resumos das análises de variância para N, P, K, Ca, Mg e Na, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, aos 396 DAT.....	128
42	Resumos das análises de regressão para pH e CEes na profundidade de 0-10 cm, no final do experimento.....	133
43	Resumos das análises de regressão para pH e CEes nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm no final do experimento.....	133
44	Valores médios para as variáveis condutividade elétrica da água de drenagem e fração de lixiviação no decorrer do experimento.....	135

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Médias mensais de temperatura no período de maio de 2007 a maio de 2008, Campina Grande – PB.....	43
2	Etapa de produção de mudas do pinhão manso em tubetes.....	44
3	Lisímetros de drenagem e recipientes coletores utilizados no experimento...	45
4	Curva característica de retenção de umidade do solo utilizado no experimento.....	47
5	Croqui do experimento instalado no interior da casa de vegetação.....	48
6	Frutos de pinhão manso adequados para colheita.....	54
7	Valores médios da altura de plantas do pinhão manso aos 18, 60, 102, 144, 186, 228, 270, 312, 354 e 396 DAT, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.....	64
8	Curvas de evolução da altura de plantas do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.....	65
9	Diâmetro caulinar médio das plantas de pinhão manso aos 18 e 60 (A), 102 e 144 (B), 186 e 228 (C), 270 e 312 (D), 354 e 396 DAT (E), em função de diversos tratamentos.....	69
10	Curvas de evolução do diâmetro caulinar do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.....	69
11	Número médio de folhas do pinhão manso, cultivado sob condições de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, em vários períodos estudados.....	74
12	Curvas de evolução do número de folhas do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.....	74
13	Área foliar média do pinhão manso em dez períodos: 18 e 60 (A), 102 e 144 (B), 186 e 228 (C), 270 e 312 (D), e aos 354 e 396 DAT (E) em função diferentes níveis de reposição da ETc.....	79
14	Curvas de evolução da área foliar do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.....	79



15	Taxa de crescimento absoluto em altura de plantas nos períodos 18-60 (A), 60-102 (B), 102-144 (C), 144-186 (D), 186-228 (E), 228-270 (F), 270-312 (G), 312-354 (H) e 354-396 (I) DAT, em função dos tratamentos.....	83
16	Taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar do pinhão manso em função de vários tratamentos e diversos períodos estudados.....	87
17	Taxa de crescimento relativo em altura de plantas do pinhão manso em função de diferentes níveis de reposição da ETc, em diversos períodos de avaliação.....	91
18	Taxa de crescimento relativo em DC do pinhão manso nos períodos 18-60 (A), 60-102 (B), 102-144 (C), 144-186 (D), 186-228 (E), 228-270 (F), 270-312 (G), 312-354 (H) e 354-396 (I) DAT, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.....	94
19	Eficiência Quântica do Fotossistema II 'Fv/Fm'(A, C e E) e relação Fv/F0 (B, D e F), aos 90, 140 e 386 DAT, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.....	97
20	Resposta dos níveis de reposição da evapotranspiração na emissão da primeira (A), segunda (B) e terceira inflorescência (C), das plantas de pinhão manso.....	100
21	Valores médios do número de cachos (A), peso das sementes (B) peso dos frutos (C) e número de frutos (D), por planta em cada tratamento durante a produção.....	103
22	Valores médios do teor de óleo das sementes de plantas de pinhão manso determinado aos 249 e 396 dias após o transplântio.....	105
23	Valores médios da evapotranspiração da cultura de plantas de pinhão manso nos períodos 18-60(A), 60-102(B), 102-144 (C), 144-186 (D), 186-228 (E), 228-270 (F), 270-312(G), 312-354 (H) e 354-396(I) DAT, em função de níveis de reposição de água.....	109
24	Consumo de água das plantas de pinhão manso nos períodos 18-60 (A), 60-102 (B), 102-144 (C), 144-186 (D), 186-228 (E), 228-270 (F), 270-312 (G), 312-354 (H) e 354-396 (I) DAT, em função de níveis de reposição da ETc.....	113
25	Consumo total de água (A), evapotranspiração total (B) e evapotranspiração média (C) do pinhão manso, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.....	116

26	Coeficiente de cultivo do pinhão manso, pelo método de Penman-Monteith (A) e Samani-Hargreaves (B), utilizando as temperaturas internas e externas da casa de vegetação, para o tratamento com 1,00 da ETc.....	118
27	Eficiência de uso da água do pinhão manso irrigado com água residuária, sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.....	120
28	Valores médios das concentrações de N (A e B), P (C e D) e K (E e F) nas profundidades de 0-10 e 10 -20 cm, em função de diversos níveis de reposição da ETc, aos 396 DAT.....	129
29	Valores médios das concentrações de Ca (A e B), Mg (C e D) e Na (E e F) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em função de diversos níveis de reposição da ETc, aos 396 DAT.....	130
30	Valores médios de pH (A e B) e CEes (C e D), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em função de diferentes níveis de reposição da ETc, aos 396 DAT.....	134
31	Condutividade média da água de drenagem e fração de lixiviação durante o período de 18 a 396 dias após o transplantio.....	135

## RESUMO

### CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DO PINHÃO MANSO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA EM FUNÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta produtora de óleo, da família *Euphorbiaceae*, nativa das Américas e, atualmente, considerada uma alternativa para produção de biodiesel. Objetivou-se com essa pesquisa estudar os possíveis efeitos da irrigação com água residuária de esgoto doméstico, em diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, no crescimento e desenvolvimento do pinhão manso, além dos efeitos sobre as propriedades químicas do solo. O experimento foi desenvolvido em lisímetros de drenagem sob ambiente protegido, em instalações da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. O delineamento estatístico utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo estudados cinco níveis de reposição de água- Nr ( $Nr_1 = 0,25$ ;  $Nr_2 = 0,50$ ;  $Nr_3 = 0,75$ ,  $Nr_4 = 1,00$  e  $Nr_5 = 1,25$  da evapotranspiração - ETc), e um tratamento testemunha (T), em que as plantas foram irrigadas com água de abastecimento a 100% da ETc. A unidade experimental foi constituída de duas plantas cultivadas em lisímetros separados. As irrigações foram realizadas obedecendo um turno de rega de dois dias; o volume de água aplicado em cada tratamento foi determinado através de balanço hídrico, tomando-se por base o tratamento  $Nr_4$ . A irrigação com água residuária favoreceu o melhor crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente nos tratamentos sem estresse hídrico. As variáveis de crescimento (altura de plantas, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar) foram afetadas pelos níveis de reposição da evapotranspiração em todos os períodos estudados, com maior intensidade a área foliar. No tratamento com 1,25 da ETc verificou-se maiores taxas de crescimento das plantas. A eficiência quântica máxima do fotossistema II, foi influenciada pelos níveis de reposição da ETc, apenas aos 140 DAT. A produção média das plantas irrigadas com água residuária superou a do tratamento testemunha. Ocorreu aumento de 648,80% no número médio de cachos, 1515,61% no peso médio das sementes, 1423,20% no peso médio dos frutos e de 976,39% no número médio de frutos, entre os tratamentos  $Nr_1$  e  $Nr_5$ . O teor de óleo determinado nas sementes aumentou com o período e o tratamento, chegando a 42%. As variáveis de balanço hídrico, consumo total de água, evapotranspiração total da cultura e evapotranspiração média, aumentaram com os níveis crescentes de umidade do solo. A irrigação com efluente de esgoto aumentou a fertilidade do solo, resultando em maiores concentrações de N e P na camada de 0-10 cm, e de K, Ca, Mg e Na, na camada de 10-20 cm de profundidade. A concentração de sais do solo variou com a profundidade, tornando-se mais salino na camada mais profunda, com maiores valores da condutividade elétrica do extrato de saturação. Na camada superficial do solo verificou-se aumento no pH.

**Palavras chave:** *Jatropha curcas*, oleaginosa, estresse hídrico.

## ABSTRACT

### GROWTH, DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF THE PHYSIC NUT IRRIGATED WITH WASTE WATER IN FUNCTION OF THE EVAPOTRANSPIRATION

The physic nut (*Jatropha curcas* L.) is an oil producer plant; it belongs to Euphorbiaceae's family, which is a native species from American continent, and that is being considered as an alternative for biodiesel's production. This research had as objective to study the possible effects of irrigation with wastewater from domestic sewage, under different levels of evapotranspiration replacement, on the growth and development of physic nut, as well as the effects of irrigation on soil chemical properties. The experiment was carried out in drainage lysimeters under a protected area belonging to Universidade Federal de Campina Grande, Technology and Natural Resources' Center of Academic Unit of Agricultural Engineering. The experimental design had randomized blocks with four replications and it had studied five levels of water's replacement - Nr ( $Nr_1 = 0.25$ ,  $Nr_2 = 0.50$ ,  $Nr_3 = 0.75$ ,  $Nr_4 = 1.00$  and  $Nr_5 = 1.25$  of evapotranspiration - ETC), and a control treatment (T), in which the plants were irrigated by potable water, and received 100% of ETC. The experimental unit was constituted by two grown plants in separate lysimeters. The irrigations were performed according to a frequency of two days; the water's volume applied in each treatment was determined by water balance, based on the treatment  $Nr_4$ . The irrigation with wastewater allowed a best growth and development of plants, especially at treatments without water stress. The variables of growth (plants' height, stem diameter, number of leaves and leaf area) were affected by levels of evapotranspiration in all studied periods, but were more intensely affected in leaf area. Plants that were irrigated under the treatment of 1.25 of ETC presented the highest growth rates. The maximum quantum efficiency of photosystem II was influenced by the levels of water's replacement of ETC only after 140 DAT (days after transplanting). The average production of irrigated plants with wastewater exceeded the control treatment. There was an increase of 648.80% in relation to average number of fruit clusters, 1515.61% in relation to average weight of seeds, 1423.20% in relation to average weight of fruits and 976.39% in relation to average number of fruits, between treatments  $Nr_1$  and  $Nr_5$ . The oil's content in seeds varied with period and treatment, it was reaching the maximum value of 42%. The variables of water balance, water's total consumption, crop's total evapotranspiration and medium evapotranspiration, increased with increasing levels of soil's moisture. The irrigation with sewage's effluent increased soil fertility, which resulted in higher concentrations of N and P in the layer of 0-10 cm, and K, Ca, Mg and Na in the layer of 10-20 cm deep. The concentration of soil's salts varied with depth, it became more saline in the deeper layers, including higher values of electrical conductivity of saturation's extract. In the soil surface depth it was verified an increase in pH

**Keywords:** *Jatropha curcas* L., oilseed, water stress.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o século passado os combustíveis derivados de petróleo têm sido a principal fonte de energia no mundo. No entanto, previsões de que esse recurso se extinga, somadas às crescentes preocupações com o ambiente, têm levado à busca de fontes de energia alternativa e renovável (GHASSAN et al., 2003).

Para Ramos et al. (2003), dentre as fontes de biomassa prontamente disponíveis, os óleos vegetais têm sido largamente investigados como candidatos a programas de energia renovável, pois proporcionam uma geração descentralizada de energia. Assim como o cultivo de espécies oleaginosas constitui alternativas em apoio à agricultura familiar, criando melhores condições de vida em regiões carentes, valorizando potencialidades regionais e oferecendo alternativas a problemas econômicos e sócio-ambientais.

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta produtora de óleo e bem adaptada a diversas regiões do Brasil, pertence à família Euphorbiaceae. A sua origem é duvidosa, alguns a consideram nativa do Brasil, mas, conforme a ABA (2007), seu mais provável local de origem é a América Central. Possui crescimento rápido, em solos pedregosos e de baixa umidade. Muitas vezes é cultivado como cerca viva, mas seu maior emprego está na medicina popular, no entanto, as sementes são tóxicas aos seres humanos e animais (HELLER, 1996).

As perspectivas favoráveis da implantação racional dessa cultura decorrem, não somente dos baixos custos de sua produção agrícola, conforme se deve esperar diante das vantagens anunciadas, mas, sobretudo, porque poderá ocupar solos pouco férteis e arenosos, de modo geral inaptos à agricultura de subsistência, proporcionando, dessa maneira, uma nova opção econômica às regiões carentes do país, principalmente na agricultura familiar (MAKKAR et al., 1997)

Devido à demanda energética sempre crescente, em todo o mundo, as prioridades se voltam para fontes energéticas renováveis, destacando-se, dentre elas, o pinhão manso como excelente alternativa, diminuindo os impactos negativos de combustíveis originados do petróleo sobre o meio ambiente. É uma nova opção que se abre de geração de emprego e renda no meio rural e matéria-prima para a obtenção de produtos necessários ao desenvolvimento da indústria.

O pinhão manso é uma planta de crescimento rápido, vida longa, adaptável a locais pobres em nutrientes, sua exploração com fins industriais, segundo informações da literatura, é viável com uso de águas de qualidade inferior.



Considerando a pressão cada vez mais crescente por águas de boa qualidade em todo o mundo, a Agenda 21 (1992) dedicou importância especial ao reuso de águas, recomendando aos países participantes da ECO-92, a implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes, integrando proteção da saúde pública de grupos de risco, com práticas ambientais adequadas.

São vários os motivos para se reutilizar a água na agricultura, proveniente tanto de esgotos como de drenagem, com destaques para a dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação e custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores. Um exemplo notável de recuperação econômica, associada à disponibilidade de esgotos para irrigação, é o caso do Vale de Mezquital, no México, onde a renda agrícola aumentou de quase zero no início do século, quando os esgotos da cidade do México foram postos à disposição da região, até aproximadamente 4 milhões de dólares americanos por hectare, em 1990 (LEÓN SUEMATSU e CAVALLINI, 1999).

Para Hespanhol (2003), a aplicação de esgotos no solo é uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semiáridas. Os maiores benefícios dessa forma de reuso estão relacionados a aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública. O aproveitamento de efluentes, seja de drenagem ou de esgotos, na produção agrícola, além de se constituir numa prática de reuso da água e de preservação da qualidade dos recursos hídricos, traz benefícios para a nutrição de culturas agrícolas e florestais, pelo fato dos efluentes possuírem elementos essenciais às plantas.

Nesse sentido, nos últimos anos vários fatores contribuíram para o aumento do interesse pela irrigação com efluentes, dentre eles, a escassez de recursos hídricos, o avanço do conhecimento técnico-científico em relação ao potencial que representa o reuso de esgotos e as limitações do reuso agrícola; considerem-se, também, outras vantagens, como controle da poluição ambiental, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola. O interesse pelo reuso planejado, ou seja, o uso seguro do ponto de vista de contaminação e controlado do ponto de vista agrícola, surgiu do próprio reconhecimento da importância do controle da utilização de esgotos na agricultura, com o objetivo de impedir o uso sem critério definido (BASTOS, 2003).

Conforme León Suematsu e Cavallini (1999), existem também riscos potenciais da irrigação com esgotos, os quais não podem ser ignorados. Entre os possíveis efeitos negativos do reuso de águas residuárias citam-se a contaminação de alimentos e de aquíferos por nitrato,

a salinização do solo e o acúmulo de compostos tóxicos orgânicos e de microrganismos no solo, criação de habitat para diversos vetores e eutrofização, crescimento excessivo de algas e vegetação em corpos hídricos e canais de distribuição de esgotos.

As águas de qualidade inferior, tais como efluentes de processos industriais e de esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras devem, sempre que possível, ser consideradas fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para a utilização dessas fontes constitui-se, hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (HESPANHOL, 2003).

Na literatura existe poucas informações de pesquisas realizadas com a cultura do pinhão manso; nesse sentido, nos últimos anos têm aumentado o interesse dos pesquisadores em estudar essa cultura, principalmente, devido à crise do petróleo e à preocupação com os impactos ambientais, causados pelas ações antrópicas e, ainda, pela possibilidade de serem usados óleos vegetais como combustíveis.

São pouco conhecidas a bioquímica e a fisiologia desta espécie; não existem cultivares definidas e alguns aspectos agrônômicos ainda necessitam ser estudados, como, por exemplo, a população de plantas ideal e a configuração de plantio (BELTRÃO, 2006); entretanto, com a possibilidade do uso do óleo do pinhão manso para a produção do biodiesel, novas e amplas perspectivas se abrem para o aumento das áreas de plantio com o pinhão manso na região semiárida do Nordeste brasileiro.

Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa analisar o comportamento da espécie *Jatropha*, irrigada com água residuária (esgoto doméstico) sob condições de ambiente protegido.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Estudar os efeitos da aplicação de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, através da irrigação com água residuária de esgoto doméstico, no crescimento, desenvolvimento fenológico e fisiológico, produção das plantas, teor de óleo das sementes e sobre atributos químicos do solo.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar o crescimento e desenvolvimento das plantas de pinhão manso irrigadas com águas residuárias de esgoto doméstico;
- Determinar as necessidades hídricas do pinhão manso e sua eficiência de uso de água;
- Determinar variáveis de produção do pinhão manso em relação à quantidade e à qualidade da água de irrigação;
- Avaliar os efeitos dos tratamentos sobre o teor de óleo das sementes;
- Avaliar o impacto da água residuária sobre as propriedades químicas do solo.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Descrição Botânica, Morfologia e Fisiologia do Pinhão manso

A denominação científica em grego “*Jatropha*” significa medicamento. De fato, sua semente era usada como vermífugo ou purgante de animais. O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), também conhecido como pinhão branco, pinhão do Paraguai, purgueira, pinhão-de-purga, grão-de-maluco, pinhão-de-cerca, turba, tartago, medicineira, tapete, siclité, pinhão-do-inferno, figo-do-inferno, inhão-das-barbadas, sassi etc, é provavelmente originário do Brasil, tendo sido introduzida por navegadores portugueses nas Ilhas do Arquipélago Cabo Verde e Guiné, de onde foi disseminada pelo continente Africano (TOMINAGA et al., 2007).

Segundo Cortesão (1956), os portugueses distinguem duas variedades de pinhão, catártica medicinal, a mais dispersa no mundo, com amêndoas muito amargas e purgativas e a variedade árvore de coral, medicinal-de-espanha, árvores de nozes purgativas, com folhas eriçadas de pêlos glandulares que segregam látex, límpido, amargo, viscoso e muito cáustico. É uma árvore de crescimento rápido, cuja altura normal é de dois a três metros, mas pode alcançar de seis a doze metros em condições especiais e diâmetro do tronco de aproximadamente 20 cm (TOMINAGA et al., 2007). Possui raízes curtas e pouco ramificadas, caule liso, de lenho mole e medula desenvolvida, mas pouco resistente, floema com longos canais que se estende até as raízes, nos quais circula o látex, suco leitoso que corre com abundância de qualquer ferimento. O tronco ou fuste é dividido desde a base, em compridos ramos, com numerosas cicatrizes produzidas pela queda das folhas na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas (BRASIL, 1985).

Tominaga et al. (2007) relatam que as folhas novas do pinhão manso têm a cor vermelho-vinho, mas se tornam verdes e brilhantes ao crescer; caem na época de seca ou na estação fria e a planta entra em repouso. No começo da primavera ou da época das chuvas, a planta rebrota e termina o período de repouso e, junto com as folhas novas, surgem as inflorescências. Trata-se de uma planta monóica, com flores masculinas e femininas na mesma inflorescência. As flores são brancas e formam buquê, com 10 a 20 flores femininas e mais de 50 masculinas. As flores femininas têm pedúnculo longo, isoladas e se localizam nas ramificações, enquanto as flores masculinas têm dez estames, cinco unidos na base e cinco unidos na coluna, localizando-se nas pontas das ramificações.

A abertura das flores femininas na mesma inflorescência ocorre em dias diferentes. Após abertura da primeira flor as outras se abrirão, diariamente, durante cerca de 11 dias

consecutivos. A polinização é por insetos (abelhas, formigas, trips e moscas). Da flor ao fruto maduro são decorridos cerca de 60 dias (DIAS et al., 2007).

De acordo com Cortesão (1956) e Brasil (1985), o pinhão manso possui fruto capsular ovóide (diâmetro de 1,5 a 3,0 cm), trilocular, formado por um pericarpo ou casca dura e lenhosa, indeiscente, ou seja, que não se abre quando maduros via de regra, com uma semente por cavidade. A maturação não é uniforme observando-se, em um mesmo cacho, frutos verdes, amarelos quando maduros, castanhos e por fim pretos; no geral, 53 a 62% do peso do fruto são representados pelas sementes e 38 a 47%, pela casca. O peso dos frutos varia de 1,5 a 3,0 gramas.

A semente é relativamente grande; quando secas medem de 1,5 a 2 cm de comprimento e 1,0 a 1,3 cm de largura; tegumento rijo, quebradiço, de fratura resinosa. Debaxo do invólucro da semente existe uma película branca cobrindo a amêndoa; albúmen abundante, branco, oleaginoso, contendo o embrião provido de dois largos cotilédones achatados. A semente de pinhão, que pesa de 0,551 a 0,797 g, pode ter, dependendo da variedade e dos tratos culturais etc, de 33,7 a 45% de casca e de 55 a 66% de amêndoa. Nessas sementes, segundo a literatura, são encontradas ainda, 7,2% de água, 37,5% de óleo e 55,3% de açúcar, amido, albuminóides e materiais minerais, sendo 4,8% de cinzas e 4,2% de nitrogênio. Segundo Silveira (1934), cada semente contém 27,90 a 37,33 % de óleo e na amêndoa se encontra de 5,5 a 7 % de umidade e 52,54 a 61,72 % de óleo.

### **3.2. Uso e Importância Econômica da Cultura**

O alto teor de óleo das sementes de pinhão manso, entre 35 e 38%, aliado à característica de queimar sem liberar fumaça, fez dele um dos mais conhecidos biocombustíveis de origem tropical. Resultados com o óleo extraído do pinhão manso, comparando-o com o diesel: o óleo tem 83,9% do poder calorífico do óleo diesel em um motor diesel, para gerar a mesma potência, ruído mais suave e poluição bem menor (ADAM, 1974; STIRPE et al., 1976; MAKKAR et al., 1997).

Até antes da segunda Guerra Mundial, em 1939, o principal emprego do óleo de pinhão manso era utilizado na saboaria e na fabricação de estearina, mas, devido às necessidades militares, outras possíveis utilizações começaram a ser estudadas. Não pode, contudo, ser utilizado como lubrificante, devido a sua baixa viscosidade e grande porcentagem de ácidos graxos impróprios, que podem provocar rápida resinificação, no entanto, pesquisas levaram à conclusão de que esse óleo pode também ser utilizado como



combustível nos motores Diesel, o qual se comporta bem, sem qualquer tratamento prévio especial e com quase igual potência às conseguidas como gasoil. Contudo, o consumo é evidentemente maior, devido à diferença dos poderes caloríficos (CORTESÃO, 1956).

Segundo Brasil (1985), em Portugal e na França, as sementes de pinhão manso sofrem o mesmo tratamento industrial que as bagas de mamona, isto é, cozimento prévio e esmagamento subsequente em prensas tipo "expeller", para extração do óleo, que em seguida, é filtrado, centrifugado e clarificado, resultando um produto livre de impurezas. A torta, que contém ainda aproximadamente 8% de óleo, é re-extraída com solventes orgânicos, geralmente hexano, sendo o farelo residual ensacado para aproveitamento como fertilizante natural, em virtude dos teores elevados de nitrogênio, fósforo e potássio.

É utilizado na indústria de fiação de lã, de tinta para escrever, tinta de impressão e tintas para pintura, além de ser utilizado como óleo de lustrar e quando cozido, misturado com óxido de ferro, utilizado para envernizar móveis, no entanto, seu maior emprego ainda é nas saboarias (MAKKAR et al., 1997). Penido Filho e Villano (1984) produziram biodiesel de pinhão manso e de várias outras oleaginosas para uso em motores produzidos pela FIAT, tendo obtido boas características no combustível.

Além de produzir óleo, o pinhão manso também pode ser utilizado para outros fins, tais como: a) substituição parcial do arame em cercas vivas, já que os animais evitam tocá-lo devido ao látex cáustico que escorre das folhas arrancadas ou feridas; b) pode ser usado como suporte para plantas trepadeiras como a baunilha (*Vanilla aromática*), visto que o tronco possui casca lisa e macia e c) atua como fixador de dunas na orla marítima (PEIXOTO, 1973). Conforme o mesmo autor, na medicina doméstica, aplica-se o látex da planta como cicatrizante, hemostático e também como purgante. As raízes são consideradas diuréticas e anti-leucêmicas e as folhas são utilizadas para combater doenças de pele. São eficazes também contra o reumatismo e possuem poder anti-sifilítico. As sementes são utilizadas como purgativo, verificando-se casos de intoxicação em crianças e adultos quando as ingerem em excesso, o que pode ser perigoso e até fatal. Atribuem-se as propriedades tóxicas do pinhão à uma globulina, a curcasina e também ao ácido jatrópico de toxicidade igual ou superior à ricinina. A ingestão de uma única semente fresca pode causar tanto vômito quanto diarreia.

É uma planta oleaginosa viável para a obtenção do biodiesel, pois produz no mínimo, duas toneladas de óleo por hectare, levando de três a quatro anos para atingir a idade produtiva, que se pode estender por mais de 40 anos (CARNIELLI, 2008). O óleo produzido pelo pinhão manso possui todas as qualidades necessárias para ser transformado em óleo

diesel. Além de fácil cultivo, apresenta boa conservação da semente colhida, podendo tornar-se grande produtora de matéria-prima como fonte opcional de combustível. Esta espécie pode ser cultivada nas pequenas propriedades, com a mão-de-obra familiar disponível, como acontece com a cultura da mamona, na Bahia, sendo mais uma fonte de renda para as propriedades rurais da região Nordeste (PURCINO e DRUMMOND, 1986).

O pinhão manso, além de ser excelente fornecedor de óleo vegetal para o biodiesel, está sendo estudado para a recuperação de áreas degradadas pela mineração exposta e para o reflorestamento de áreas desmatadas (TOMINAGA et al., 2007). Devido à cobertura do solo com matéria seca, reduz a erosão e a perda de água por evaporação, evitando enxurradas e enriquecendo o solo com matéria orgânica decomposta (PEIXOTO, 1973).

### **3.3. Requerimentos Ambientais**

Apresenta distribuição geográfica bastante vasta devido à rusticidade, resistência a longas estiagens e a pragas e doenças, embora seja adaptável a condições edafoclimáticas muito variáveis, desde o Nordeste brasileiro até São Paulo e Paraná, desenvolve-se bem, tanto nas regiões tropicais secas, como nas zonas equatoriais úmidas e assim como nos terrenos áridos e pedregosos podendo, sem perigo, suportar longos períodos de seca (CORTESÃO 1956 e PEIXOTO 1973). O pinhão manso se adapta a altitudes baixas, como o nível do mar, até altitudes próximas a 1000 metros (SATURNINO et al., 2005). Seu cultivo é mais indicado em regiões com altitude entre 500 e 800 m. Em terrenos de encosta, áridos e expostos ao vento, desenvolve-se pouco, não ultrapassando 2 metros de altura (CORTESÃO, 1956; PEIXOTO, 1973; DIAS et al., 2007).

#### **3.3.1. Clima e Solo**

Nas regiões semiáridas sua floração anual ocorre de 3 a 4 vezes, podendo chegar a mais de 6 vezes nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, embora o excesso de chuva no período da colheita possa atrapalhar o trabalho (TOMINAGA et al., 2007). Apresenta tolerância as condições de precipitação pluviométricas de 480 a 2.380 mm/ano, sendo que a produtividade é bastante afetada pela irregularidade na distribuição das chuvas e pelos ventos fortes e prolongados na época da floração (SATURNINO et al., 2005). Observa-se que a planta se desenvolve melhor sob temperatura média de 18 a 28 °C e precipitação acima de 800 mm anuais, bem distribuída (DIAS et al., 2007). Para uma produção adequada o ideal são

precipitações acima de 600 mm/ano e temperaturas médias anuais de 18,0 a 28,5 °C (TOMINAGA et al., 2007).

De acordo com Peixoto (1973) e Brasil (1985), apesar de pouco exigente a condições climáticas e solo fértil, adaptando-se facilmente a variadas condições, o pinhão manso deve preferencialmente ser cultivado em solos profundos, bem estruturados e pouco compactados para que o sistema radicular possa se desenvolver e explorar maior volume de solo, satisfazendo a necessidade da planta em nutrientes. Devem ser evitados os solos muito argilosos, rasos, com umidade constante, pouco arejados e de difícil drenagem, a planta não tolera áreas encharcadas ou alagadiças.

Dias et al. (2007) relatam que o preparo do solo deve ser realizado com o uso de arado, de preferência de aiveca, devido ao melhor revolvimento e enterrio das sementes das plantas daninhas sendo, em seguida, nivelado por uma grade leve que não seja aradora. O solo pode ser preparado seco ou no ponto da friabilidade, dependendo de sua textura e estrutura. Em solos ácidos, com pH abaixo de 4,5, as raízes do pinhão manso não se desenvolvem, tornando-se conveniente a realização de calagem com base na análise química do solo, a qual indicará a quantidade de calcário, gesso, macro e micronutrientes necessários para satisfazer a exigência da cultura.

### **3.4. Principais Produtores Mundiais e Nacionais**

No Brasil, o pinhão manso ocorre praticamente em todas as regiões, sempre de forma dispersa, adaptando-se em condições edafoclimáticas as mais variáveis, mas somente nos últimos anos começou a ser cultivada comercialmente. Empresas de pesquisa agropecuária, universidades e empresas agrícolas de diversos estados brasileiros estão desenvolvendo trabalhos de pesquisa sobre o cultivo do pinhão manso, dentre os quais já resultaram alguns dados que indicam parâmetros técnicos para seu cultivo; No entanto, as melhores técnicas para o cultivo não estão definidas, havendo, ainda, dúvidas e interrogações (TOMINAGA et al., 2007).

O cultivo do pinhão manso ocorre em vários países de clima tropical e subtropical (TOMINAGA et al., 2007). Na Índia está sendo pesquisado e seu cultivo estimulado como parte do Programa Nacional de Produção de Biodiesel, o que poderá tornar este país no principal produtor da planta no mundo. Por outro lado, constitui fator econômico industrial no Arquipélago de Cabo Verde, em Angola, Guiné, Moçambique, nas Antilhas Britânicas,

Filipinas, México, Porto Rico, Venezuela e El Salvador, sempre ao lado de outras culturas, sendo uma das maiores riquezas do Arquipélago de Cabo Verde, que já foi um dos principais produtores e exportadores mundiais de sementes de pinhão manso (CORTESÃO, 1956 e PEIXOTO, 1973).

Conforme dados da Embrapa, a área plantada com pinhão manso no país aumentou de 500 hectares em 2006 para 20 mil hectares em 2007. A previsão é aumentar para 50 mil ha este ano, o que irá exigir uma produção adicional de 300 toneladas de sementes (TOMINAGA, 2008).

### **3.5. Evapotranspiração da Cultura**

A evapotranspiração compreende a perda combinada de água da superfície úmida do solo e transpiração das plantas. Tanto a evaporação como a transpiração ocorre simultaneamente. Na natureza não é fácil a distinção entre os dois processos. A evaporação é determinada pela disponibilidade de água na camada superficial do solo e pelo saldo de radiação que chega nessa superfície. No estágio inicial de desenvolvimento de uma determinada cultura, a fração da evaporação é alta, diminuindo durante o estágio de crescimento. À medida que a cultura cobre a superfície do solo, a transpiração passa a ser o principal processo (ALLEN et al., 1998).

Um dos procedimentos utilizados para estimativa das necessidades de água das culturas envolve a determinação de evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), a qual, mediante a utilização de coeficiente de cultura ( $K_c$ ) apropriado permite estimar a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), nos diferentes estágios de seu desenvolvimento vegetativo (SEDIYAMA, 1987).

O consumo de água de determinada cultura é uma função direta da demanda atmosférica do local, do conteúdo de água presente no solo e da capacidade de resistência da planta à perda de água através das folhas. De acordo com Taiz e Zeiger (2004), quando as plantas estão transpirando, o fluxo de água desde o solo, através da planta, para a atmosfera é diretamente proporcional ao gradiente de  $\Psi_w$  e inversamente proporcional ao somatório das resistências. Utilizando-se valores típicos de  $\Psi_w$  para os diversos compartimentos envolvidos (solo, raiz, caule, folha e atmosfera), obtém-se que a resistência ao movimento de água nas paredes celulares (na folha) para a atmosfera exterior é bem maior que o somatório das demais resistências. Portanto, a transpiração deve desempenhar papel fundamental no movimento de água através do sistema solo - planta - atmosfera, no qual a transferência de água ocorre de forma passiva, em resposta às

---

diferenças de potenciais de água estabelecidos entre o gradiente de potencial formado entre o solo e as células das raízes da planta (SILVA, 1996).

Segundo Sousa et al. (1997), o manejo da água em culturas irrigadas tem como objetivo decidir como, quanto e quando irrigar. A quantidade de água a ser aplicada é normalmente determinada pela necessidade hídrica da cultura, podendo ser estimada através da evapotranspiração ou por meio da tensão da água no solo. Para se determinar o momento da irrigação, além de outros parâmetros mencionados, pode-se utilizar outras medidas de avaliação de água no solo, como turno de irrigação, ou considerar os sintomas de deficiência de água nas plantas.

Doorenbos e Kassan (1979) apresentaram a terminologia de evapotranspiração máxima (ET<sub>c</sub>), como um parâmetro que expressa o consumo hídrico das culturas sob condições de suprimento de água adequado. Ainda, para os mesmos autores a ET<sub>c</sub> refere-se à perda de água de uma cultura agrônômica, sem restrições de água e em qualquer estágio de desenvolvimento.

Teixeira et al. (2002) utilizaram o método da razão de Bowen para estimar a evapotranspiração da bananeira irrigada, durante dois ciclos de produção (janeiro de 1999 a novembro de 2000) no Vale do rio São Francisco. Para o primeiro ciclo de produção, os autores encontraram a evapotranspiração acumulada da cultura de 1210 mm, correspondendo a um valor médio de  $3,8 \pm 1,1 \text{ mm.d}^{-1}$  e no segundo ciclo o consumo hídrico da cultura foi de 880 mm o que correspondeu a um valor médio de  $4,0 \pm 1,2 \text{ mm.d}^{-1}$ .

Teixeira et al. (2003) determinaram o consumo hídrico da goiabeira no Vale do rio São Francisco durante os ciclos de produção e colheita pelo método da razão de Bowen. Os autores encontraram a evapotranspiração acumulada da goiabeira entre a poda e a colheita foi de 906 mm, o que correspondeu a um valor médio de  $4,53 \pm 0,68 \text{ mm.d}^{-1}$ .

A evapotranspiração da cultura pode ser medida diretamente através de lisímetros ou evapotranspirômetros e estimada pelos métodos do balanço hídrico do solo, balanço de energia sobre a cultura ou modelos micrometeorológicos. São diversos os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, sendo a escolha do método baseado, principalmente, no tipo de cultura, disponibilidade de estações meteorológicas e na precisão requerida para determinação das



---

Allen et al. (1994) consideram a evapotranspiração um processo governado por trocas de energia de uma superfície vegetada e é limitado pela quantidade de energia disponível. A equação de Penman-Monteith é a mais precisa, quando usada na base horária e somando os valores para obter estimativa diária de  $ET_o$ .

### **3.5.1. Coeficiente de Cultivo**

Um planejamento da irrigação baseado em valores empíricos do  $K_c$ , que não seja do local estabelecido, certamente acarretará sobreestimativa ou subestimativa das reais necessidades hídricas da cultura que, associado a outros fatores, pode refletir nos custos de produção, na redução da qualidade do produto e na produtividade agrícola (SILVA et al., 2000).

Para Clark et al. (1996), o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura ( $ET_c$ ), sob condições de não estresse hídrico, e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ). Esse coeficiente relata o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular em relação à evapotranspiração de referência e também representa o uso de água de uma cultura específica, que é de importância relevante para a estimativa do seu requerimento hídrico, necessário para o dimensionamento do sistema de irrigação quanto para operacionalização de perímetros irrigados.

Diversos valores de coeficiente de cultivo apresentaram valores de  $K_c$  para um grande número de culturas, usualmente derivados de estudos relativos ao balanço hídrico no solo, sob diferentes condições climáticas (DOORENBOS e PRUITT, 1975). Todavia, enfatizam que há necessidade de calibração desses coeficientes, para as condições locais.

O coeficiente de cultivo é um fator importante no indicativo do consumo de água ideal para a planta durante todo o seu ciclo, constituindo-se, portanto, num elemento imprescindível para um escalonamento mais racional de projeto e manejo de irrigação. O  $K_c$  depende do estágio de desenvolvimento da cultura, do sistema de irrigação, da densidade de plantio e das condições atmosféricas dominantes. Segundo Doorembos e Pruitt (1975), o  $K_c$  relaciona a evapotranspiração de uma cultura que cresce sob condições satisfatórias produzindo rendimentos máximos com a de uma cultura de referência, tal como a cultura da grama.

Teixeira et al. (2002) determinaram o coeficiente de cultura da bananeira, no Vale do rio São Francisco em Petrolina-PE, para dois ciclos de produção, através da razão de Bowen. Os autores encontraram valores de coeficiente de cultura variando entre 0,6 a 1,1 no primeiro

---

Teixeira et al. (2003) obtiveram o coeficiente de cultura da goiabeira, no Vale do rio São Francisco, durante os ciclos de produção e colheita, através do método da razão de Bowen. O coeficiente de cultura apresentou valores variando entre 0,61 a 0,84. Segundo os autores, os valores mínimos do coeficiente de cultivo ocorreram na fase de crescimento vegetativo e os máximos na fase de crescimento dos frutos.

### 3.5.2. Eficiência de Uso de Água

A quantidade de água de rega num determinado cultivo deve ser aquela que maximiza os objetivos do produtor por unidade de área cultivada ou unidade de água aplicada (ENGLISH e RAJA, 1996), e o conceito de Eficiência do Uso da Água (EUA) pode ser utilizado para medir como a água é utilizada na agricultura. A E.U.A. pode ser definida como a razão entre o rendimento da cultura e a sua evapotranspiração (HATFIELD et al., 2001; ANYIA e HERZOG, 2004).

A eficiência de uso da água é a relação entre a produção e o volume de água utilizado pela cultura durante todo seu ciclo, fornecendo um modo simples de avaliar se a produção está sendo limitada pelo suprimento de água ou por outros fatores (ANGUS e van HERWAARDEN, 2001).

A eficiência do uso da água (E.U.A.) e a resistência à seca são freqüentemente tratadas como sinônimos, embora normalmente não estejam relacionadas; para DOORENBOS e KASSAM (1994), a 'E.U.A' refere-se a uma variável de rendimento total da colheita por unidade de água utilizada ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e o maior objetivo das pesquisas nesta área reside em se conseguir altos valores de eficiência, mantendo-se altas produtividades, porém a ênfase dada à resistência a seca é freqüentemente relacionada à sobrevivência da planta durante períodos de déficit hídrico, resultante do baixo fornecimento de água e alta radiação, temperatura e demanda evaporativa da atmosfera (HERNANDEZ, 1991). De acordo com este autor, tanto a produtividade biológica como a de frutos e a quantidade de água evapotranspirada, são dependentes do balanço de energia e a eficiência de uso de água, por sua vez, é dependente da distribuição de energia dentro da cultura.

---

## 3.6. Qualidade da Água

A qualidade da água utilizada na irrigação é uma característica que deve ser questionada antes do início do cultivo, pois se trata de um dos fatores que tem limitado ou impossibilitado a expansão da produção agrícola no Nordeste brasileiro. Além disso, a alta taxa de evapotranspiração e a baixa pluviosidade contribuem para salinização dos solos irrigados (MEDEIROS, 1992).

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água. A importância da qualidade da água só começou a ser reconhecida a partir do início deste século. A falta de atenção a este aspecto foi devido à disponibilidade de águas de boa qualidade e de fácil utilização, mas esta está mudando em vários lugares, em função do aumento de consumo por águas de qualidade, restando como alternativa o uso de águas de qualidade inferior (AYERS e WESTCOT, 1999).

### 3.6.1 Qualidade da Água na Agricultura

A água é fator de fundamental importância para produção de alimentos, especialmente sob condições irrigadas. A prática da irrigação, em muitas situações, é a única maneira de garantir a produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o caso do semiárido do Nordeste brasileiro, onde ocorre déficit hídrico para as plantas devido à taxa de evapotranspiração exceder a de precipitação durante a maior parte do ano.

A qualidade da água de irrigação é determinante não somente em função de suas características físicas, químicas e biológicas, como também da adequação ao uso específico a que se destina (AYERS e WESTCOT, 1999). Tal necessidade exige conhecimento prévio, não só de suas propriedades mas também dos efeitos e riscos à saúde e ao meio ambiente.

As águas se dividem em quatro classes de salinidade, à medida que aumenta a concentração de sais e, conseqüentemente, sua condutividade elétrica, recebendo denominações sucessivas de C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, com limites apresentados por Richards (1977), pela Universidade da Califórnia (University of Califórnia Committee of Consultants - UCCC) e por Ayers e Westcot (1999), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade.

Classe de salinidade	Richards (1977)	UCCC <sup>1</sup>	Risco de salinidade	Ayers e Westcot (1999)	
	Faixas de CEai (dS m <sup>-1</sup> )			Faixas de CEai (dS m <sup>-1</sup> )	Risco de salinidade
C1	< 0,25	< 0,75	Baixo	< 0,70	Nenhum
C2	0,25 – 0,75	0,75 – 1,50	Médio	0,70 – 3,00	Moderado
C3	0,75 – 2,25	1,50 – 3,00	Alto	> 3,00	Severo
C4	> 2,25	> 3,00	Muito alto	-	-

Fonte: Ayers e Westcot (1999); <sup>1</sup>UCCC – University of California Committee of Consultants

A quantidade de sais adicionados à água através do uso doméstico e industrial varia de acordo com a localidade, podendo chegar de 100 e 800 mg L<sup>-1</sup>; em uma mesma localidade, as variações são pequenas, mas, mesmo em concentrações relativamente baixas, em algumas situações, são suficientes para alterar a qualidade da água de aceitável para restritiva, do ponto de vista agrícola (FEIGIN et al., 1991).

Bouwer e Chaney (1974) relatam que os sais dissolvidos em águas residuárias interagem com o solo por meio de troca iônica, dispersão e floculação de argilas. Quando presentes no solo ou na água, eles podem reduzir a disponibilidade de água para as culturas, afetando o rendimento (AYERS e WESTCOT, 1999). Maiores concentrações de sais na solução do solo podem ocorrer se a quantidade de água residuária adicionada (mais a precipitação) não for muito maior que a evapotranspiração (BOUWER e CHANEY, 1974).

Para Ayers e Westcot (1999), na utilização de esgotos na agricultura, devem ser levadas em consideração as características físico-químicas e biológicas das águas, que se refletem na produtividade e qualidade das culturas, na manutenção da fertilidade do solo e na proteção do homem e do meio ambiente. Entre os contaminantes de esgotos que podem degradar a qualidade dessas águas estão os sais, os nutrientes e os traços de elementos químicos, os quais estão relacionados com os principais problemas no solo como salinidade, permeabilidade, toxicidade de íons específicos e concentração de nutrientes.

Os esgotos sanitários possuem teores de macro e micronutrientes suficientes para o atendimento da demanda da maioria das culturas, assim, a irrigação das culturas através de corpos d'água que recebem lançamentos de esgotos sanitários, pode ser considerada uma fertirrigação (NUVOLARI, 2003). Para as culturas sensíveis, o máximo recomendado de cloretos na água de irrigação é 210 mg L<sup>-1</sup>. Teores de 99 mg L<sup>-1</sup> de cloretos na água de

---

O nível de cloretos no efluente secundário é maior que o encontrado na água para abastecimento. O tratamento de esgotos padrão não remove o cloro do efluente devido à elevada solubilidade dos compostos de cloro. As tecnologias de dessalinização para remover cloro são muito caras e, comumente, os níveis de cloro nos efluentes municipais secundários permanecem abaixo daqueles considerados prejudiciais para a maioria das culturas agrícolas; no entanto, altas concentrações desse elemento no efluente de esgoto, como em outras fontes de água, podem atingir águas subterrâneas (FEIGIN et al., 1991). O cloreto não é retido ou adsorvido pelas partículas do solo, através do qual se desloca facilmente com a água deste, porém é absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula pela transpiração. Este problema é mais intenso nas regiões de climas mais quentes, onde as condições ambientais favorecem alta transpiração.

Dependendo do tipo de irrigação a ser utilizado, também pode ocorrer maior ou menor intensidade de absorção do cloreto, e, caso sua concentração exceda a tolerância da planta, pode causar redução das taxas de crescimento e produzir danos com seus sintomas característicos, como necrose e queimadura nas folhas. A toxicidade mais freqüente é a provocada pelo cloreto contido na água de irrigação (AYERS e WESTCOT, 1999; MANCUSO e SANTOS, 2003).

Verificam-se na Tabela 2 as características dos efluentes domésticos secundários quanto a sua constituição. Em geral, a irrigação com água de esgotos sanitários exerce efeitos benéficos ao solo com a incorporação de matéria orgânica, porém, este aspecto também deve ser monitorado e controlado. Existe uma estreita relação entre a matéria orgânica disponível no solo e a desnitrificação, podendo o carbono orgânico induzir à desnitrificação, causando graves perdas de  $\text{NO}_3^-$  (FEIGIN et al., 1991).

Tabela 2. Características dos efluentes domésticos secundários.

Atributo	Unidade	Concentração
Sólidos totais	mg L <sup>-1</sup>	400 - 1200
Sólidos totais suspensos	mg L <sup>-1</sup>	10 - 100
Sólidos totais dissolvidos	mg L <sup>-1</sup>	400 - 1000
Demanda química de oxigênio - DQO	mg L <sup>-1</sup>	100 - 180
Carbono orgânico dissolvido - COD	mg L <sup>-1</sup>	30 - 160
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	10 - 50
Nitrogênio – nitrato	mg L <sup>-1</sup>	0 - 10
Nitrogênio – amônio	mg L <sup>-1</sup>	1 - 40
Fósforo total	mg L <sup>-1</sup>	6 - 17
Cloretos	mg L <sup>-1</sup>	40 - 200
Alcalinidade (carbonato de cálcio)	mg L <sup>-1</sup>	200 - 700
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	50 - 250
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	10 - 40
Cálcio	mg L <sup>-1</sup>	20 - 120
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	10 - 50
Boro	mg L <sup>-1</sup>	0 - 1
pH	-	7,8 - 8,1
Relação de adsorção de sódio - RAS	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	4,5 - 7,9

Fonte: Feigin et al. (1991).

### 3.6.2. Água Residuária

Nos últimos tempos, enquanto o uso de esgotos e efluentes tratados na irrigação tem se mostrado cada vez mais desejável, em face do rareamento de fontes de água natural para a irrigação e do alto custo de adubos comerciais, por um lado, e das necessidades crescentes de controle da poluição ambiental e de proteção da saúde pública, mediante a disposição adequada dos esgotos sanitários, por outro lado, demonstra-se também apropriado na medida em que mais se conhece os benefícios às culturas irrigadas e se constata que os riscos à saúde são muito menores do que se pensava (KONIG e CEBALLOS, 1997).

Nas regiões áridas e semiáridas, a água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Órgãos de planejamento e entidades gestoras de recursos hídricos procuram continuamente novas fontes de recursos para complementar a pequena disponibilidade hídrica ainda disponível (HESPANHOL, 2003).

A Lei 9433, de 08 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, cujo objetivo principal é assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, mesmo assim o lançamento direto de esgotos domésticos e industriais tem sido a principal causa da

---

Água residuária é um termo usado para caracterizar os dejetos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de estabelecimentos públicos, áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais e outros efluentes sanitários (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; JORDÃO e PESSOA, 1995; BRAGA et al., 2002).

Para Von Sperling (1996), as águas residuárias são águas poluídas pela adição de substâncias ou formas de energia que, direta ou indiretamente, alteram a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudicam os legítimos usos que dele são feitos.

As águas residuárias podem ser classificadas como doméstica, industrial e agrícola, em função da sua origem. A quantidade de efluente doméstico produzido é dependente do padrão de vida das pessoas, das condições climáticas e da estação do ano e suas características químicas são influenciados pela fonte de água, sistemas de esgoto, tipo de estação de tratamento (concepção do tratamento) e natureza de descarga industrial dentro do sistema municipal de esgoto (FEIGIN et al., 1991).

As águas residuárias domésticas são geralmente perenes e sua composição é essencialmente orgânica e relativamente constante quando existe controle domiciliar de água (MENDONÇA, 1990).

Os esgotos domésticos provêm, principalmente, de residências e de edificações públicas e comerciais que concentram aparelhos sanitários, lavanderias e cozinhas. Apesar de variarem em função das condições socioeconômicas das populações, do clima e dos hábitos, os esgotos domésticos têm características bem definidas e compõem-se, basicamente, das águas de banho, urina, fezes, restos de comida, sabões, detergentes e águas de lavagem (VON SPERLING, 1996; BRAGA et al., 2002). Segundo Mara e Cairncross (1990), cada indivíduo gera 1,8 L de excretas diariamente, correspondendo a 350 gramas de sólidos secos, incluindo 90 gramas de matéria orgânica, 20 gramas de nitrogênio e outros nutrientes como potássio e fósforo.

Geralmente os esgotos sanitários possuem mais de 98% de sua composição constituída de água, porém há contaminantes, entre os quais se destacam: sólidos suspensos, compostos orgânicos (proteínas: 40% a 60%; carboidratos: 25% a 50%; e óleos e graxas: 10%), nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos inertes, sólidos grosseiros, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e, ocasionalmente, contaminantes tóxicos decorrentes de atividades industriais ou ocasionais (PROSAB, 2007).



As águas residuárias domésticas contêm aproximadamente 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos (VON SPERLING, 1996).

Além dos sólidos grosseiros encontrados nos despejos domésticos, existem, ainda, os sólidos inorgânicos, os quais representam 30% da quantidade de material sólido presente nos despejos. Os sólidos inorgânicos são compostos por partículas de areia, sais e metais que podem acarretar abrasão excessiva nas tubulações, válvulas, registros e bombas, entupimentos e obstruções nas tubulações, formação de depósitos de material inerte nos decantadores, digestores e reatores biológicos.

O poder poluente das águas residuárias domésticas será maior, quanto mais elevada for a concentração de matéria orgânica. Essa concentração é medida principalmente pela Demanda Bioquímica e Oxigênio - DBO e Demanda Química de Oxigênio - DQO, (MENDONÇA, 1990).

De acordo com Sousa e Leite (2003), os esgotos domésticos além de apresentar elementos contaminantes, possuem nutrientes suficientes para o desenvolvimento das culturas, apresentam altas concentrações de carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, elementos indispensáveis às plantas.

### **3.7. Água Residuária - Solo - Planta**

Para Bouwer e Idelovitch (1987), normalmente o pH da água de irrigação não tem afetado significativamente o pH do solo, por causa de seu poder tampão. Assim, não é de se esperar efeito direto do efluente no pH do solo, mesmo com a ocorrência generalizada de  $\text{HCO}_3^-$  (uma das formas presentes de alcalinidade) nas águas residuárias. No entanto, existe a possibilidade dessa alcalinidade associada às altas concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ , em águas alcalinas, ocasionar aumento do valor de pH do solo.

Conforme Day et al. (1979), a irrigação com efluente de esgoto tratado não alterou o pH do solo. Porém, nesta situação, tratava-se de um solo de região semiárida naturalmente alcalino. Por outro lado, Vazquez-Montiel et al. (1996), verificaram diminuição do pH em solo cultivado com milho e irrigado com efluente de esgoto tratado. Os autores sugeriram que essa queda no pH do solo foi devido à nitrificação, uma vez que esse efeito foi incrementado com a aplicação de fertilizante nitrogenado mineral (sulfato de amônio).

Solos tratados com resíduos biodegradáveis (como o efluente de esgoto), mediante a degradação destes materiais pelos microrganismos, pode haver diminuição no valor de pH do solo devido à produção de  $\text{CO}_2$  e ácidos orgânicos (BOUWER e CHANEY, 1974).

Tem sido observado em sistemas agrícolas, pastagens e florestas incremento no valor de pH do solo mediante a irrigação com água residuária. Este aumento de pH tem sido atribuído ao pH alto do efluente, à adição de cátions trocáveis e de ânions oriundos do efluente à alteração na ciclagem de nutrientes mediante a adição de efluente, levando à redução do  $\text{NO}_3^-$  para  $\text{NH}_4^+$  e a denitrificação do  $\text{NO}_3^-$ , cujos processos produzem íons  $\text{OH}^-$  e podem consumir prótons (STEWART et al., 1990).

Apesar do efluente de esgoto tratado poder contribuir para elevação do pH do solo, tanto na camada superficial como no subsolo, mais pronunciadamente em solos que receberam aplicação de efluentes por vários anos, este aumento de pH tem sido muito pequeno, da ordem de 0,1 a 0,8 unidades Smith et al.(1996). Desde modo, os efeitos do aumento do pH do solo mediante adição de efluente de esgoto em solos, de baixa fertilidade natural, têm sido desprezíveis e de pouca importância prática com relação à disponibilidade de nutrientes. Então, não é de se esperar que o  $\text{HCO}_3^-$  ou certos compostos orgânicos presentes na água residuária, em concentrações variáveis, possa substituir a prática da calagem, apesar desse aumento de alcalinidade ser considerado vantajoso pelo fato de diminuir a mobilidade de metais pesados no solo (STEWART et al., 1990).

### **3.7.1. Água Residuária e os Problemas de Salinidade e Sodicidade**

Normalmente, pelo fato de o efluente ser salino, a irrigação com água residuária tem levado ao aumento a salinidade do solo (SMITH et al., 1996), a qual pode afetar a absorção de água pelas plantas devido à presença de uma maior concentração dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$  na solução do solo (BIELORAI et al., 1984). Entretanto, alguns autores têm assinalado diminuição na salinidade do solo pela irrigação com efluente (STEWART et al., 1990).

O aumento da condutividade elétrica (CE) do solo mediante a irrigação com efluente tem sido comum em sistemas agrícolas, pastagens e florestas (SMITH et al., 1996), mais pronunciadamente na camada superficial do solo (Al-NAKSHABANDI et al., 1997). Esse aumento de salinidade pode ser, segundo Al-NAKSHABANDI et al. (1997), devido a dois fatores: evaporação da superfície do solo, levando ao acúmulo de sais; exposição do subsolo à contínua lixiviação e substituição dos sais na periferia da zona úmida, a qual, normalmente tem apresentado aumento na concentração de sais.

Johns e McConchie (1994) verificaram que a irrigação com efluentes não somente proporcionou aumento no teor de Na trocável, mas também levou ao incremento no teor de Na lixiviado na solução do solo. No entanto, segundo os autores, essa entrada de Na (pela aplicação de efluente) não foi suficiente para substituir o cálcio e o magnésio na superfície dos colóides, tendo em vista que a lixiviação de cálcio foi semelhante em todos os tratamentos irrigados, independentemente do tipo de água de irrigação. Pesquisa realizada por Stewart et al. (1990), a irrigação com efluente contendo 66,6-113,0 mg.L<sup>-1</sup> de sódio, apesar de ter levado ao aumento no teor de sódio trocável, não alterou a distribuição de sais solúveis e dos cátions trocáveis no solo, mesmo havendo dominância de sódio no efluente.

Balks et al. (1998) observaram em solos florestais irrigados com efluente rico em Na, por cinco anos, que houve incremento na percentagem de sódio trocável de 2 para 25%. Os autores verificaram que o PST aumentou mais do que o previsto pela RAS (razão de adsorção de sódio) da irrigação com efluente, utilizando-se relações convencionais na literatura (AYERS e WESTCOT, 1985). Esse aumento na sodicidade do solo contribuiu para que ocorresse dispersão de argila. Apesar disso, a diminuição na condutividade hidráulica do solo foi pequena, não afetando o fluxo de água. Segundo os autores, esse aumento na PST associado à pequena redução na condutividade hidráulica do solo, não apresentou nenhuma ameaça para a continuidade da irrigação com efluente, uma vez que o solo não foi revolvido. Porém, a hipótese de ocorrência deste tipo de problema não pode ser descartada para experimentos de longa duração.

Em pesquisas realizadas por Speir et al. (1999), embora o teor de Na tenha aumentado pela aplicação de efluentes secundários de esgoto tratado, o inverso ocorreu quando a irrigação cessou, devido ao efeito das chuvas, na lixiviação desse cátion. Esses autores verificaram que tanto na camada superficial como no subsolo, a macro e microporosidade total foram afetadas pela disposição de efluentes no solo. Todavia, os efeitos do Na em solo ácido com baixa CTC parece ser mais acentuado.

Segundo Martin et al. (1964), o aumento nos teores de Na no solo influenciou o pH e a CTC do solo, principalmente no solo ácido e, ainda, a condutividade hidráulica diminuiu à medida que foi aumentada a PST na CTC, na CTC e na relação com o somatório dos cátions trocáveis (Ca, Mg, K e Na). Não somente o sódio do efluente pode afetar a condutividade hidráulica do solo, o impedimento hidráulico e a diminuição da taxa de difusão de O<sub>2</sub> nos solos irrigados com água residuária, também são dependentes da qualidade do efluente (qualidade de sólidos suspensos e sólidos dissolvidos) e da taxa de aplicação. Apesar de os

### 3.8. Estresse Hídrico nas Plantas

Em condições naturais ou agricultáveis, as plantas estão freqüentemente expostas a estresses. De forma geral, estresse pode ser definido como um fator externo que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta. O conceito de estresse está relacionado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável. Um ambiente estressante para uma planta pode não o ser para outra, ou seja, a tolerância varia de espécie para espécie (KERBAUY, 2004).

A freqüência e a intensidade do déficit hídrico constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial, todavia, isto requer gasto energético, resultando, na melhor das hipóteses, em redução do crescimento (LARCHER, 2000).

Para Taiz e Zeiger (2004), o primeiro e mais visível efeito do déficit hídrico é a diminuição da turgescência e, por conseguinte, do alongamento celular e crescimento da planta. Para os mesmos autores, os mecanismos de resistência das plantas à seca podem ser de três tipos: 'adiamento (fuga) da dessecação' ou a habilidade para manter hidratação dos tecidos; 'tolerância à dessecação' ou a capacidade para manter as atividades vitais enquanto desidratada; e 'escape' (fuga à seca), um atributo de algumas plantas que as habilita a executarem o seu ciclo, da germinação à produção de novas sementes, dentro de um período de algumas semanas, depois de uma forte chuva.

A perda de turgor é o primeiro efeito biofísico do estresse hídrico, razão pela qual as atividades dependentes do turgor são as mais sensíveis a este fator de estresse. A expansão ou alongamento celular é um processo dependente do turgor, portanto, é extremamente sensível ao déficit hídrico. A redução da expansão foliar também pode ser considerada uma primeira resposta da planta contra a seca. O estresse hídrico não só limita o tamanho de folhas individuais mas também o número de folhas porque diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos. Sob tais circunstâncias o fechamento dos estômatos reduz a perda de água por transpiração, nesse caso, o fechamento estomático pode ser considerado uma segunda linha de defesa contra a seca (TAIZ e ZEIGER, 2004).

A transpiração excessiva retarda o crescimento de muitas plantas e causa morte em muitas outras por desidratação. Apesar de sua longa história evolutiva, as plantas não desenvolveram uma estrutura que seja, ao mesmo tempo, favorável à entrada de dióxido de carbono, essencial para a fotossíntese, e desfavorável à perda de vapor d'água pela transpiração. No entanto, várias adaptações especiais como a cutícula e os movimentos

estomáticos minimizam a perda de água enquanto otimizam a captação de dióxido de carbono. Em casos de déficit hídrico severo, quando a disponibilidade de CO<sub>2</sub> está em níveis extremamente reduzidos, a planta utiliza dióxido de carbono proveniente da respiração para manter um nível mínimo de atividade fotossintética (RAVEN et al., 2001).

A abscisão foliar durante condições de déficit hídrico é resultado, em grande parte, do aumento na síntese do hormônio etileno pela planta. Este ajuste de área foliar é uma importante resposta, pois melhora a aptidão da planta em sobreviver sob estresse hídrico (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Déficit hídrico moderado também afeta o desenvolvimento do sistema radicular. A relação raiz/parte-aérea (R/PA) parece ser governada por um equilíbrio funcional entre a absorção de água pelas raízes e a intensidade da taxa fotossintética da copa. Embora a R/PA dependa de processos complexos e da nutrição, o conceito de equilíbrio funcional pode ser assim simplificado: A parte aérea crescerá até que sua demanda hídrica seja superior à capacidade de absorção de água do sistema radicular, limitando o crescimento adicional da copa. Reciprocamente, o sistema radicular crescerá até que sua necessidade em fotoassimilados iguale a quantidade que é produzida na parte aérea. Este equilíbrio funcional será alterado se houver decréscimo no suprimento de água. Quando a absorção de água é reduzida, a expansão foliar é imediatamente afetada, todavia, a atividade fotossintética não é logo tão inibida. A inibição da expansão foliar reduz o consumo de carbono e de energia da parte aérea, além de quantidade maior de fotoassimilados ser alocada para o crescimento adicional do sistema radicular (TAIZ e ZEIGER, 2004).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização da Área Experimental

O experimento foi conduzido em instalações pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEAg), sob condições de ambiente protegido, durante o período de maio de 2007 a maio de 2008, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 07° 13' S, longitude 35° 53' W e altitude média 550 m.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Koppen, adaptada ao Brasil (Coelho e Soncin, 1982), é do tipo “Csa”, que representa um clima mesotérmico semi-úmido, com verão quente e seco (4 a 5 meses) e chuvas de outono e inverno

Durante o período experimental foram registrados dados climáticos referente à temperatura máxima e mínima, no interior da casa de vegetação (Figura 1).

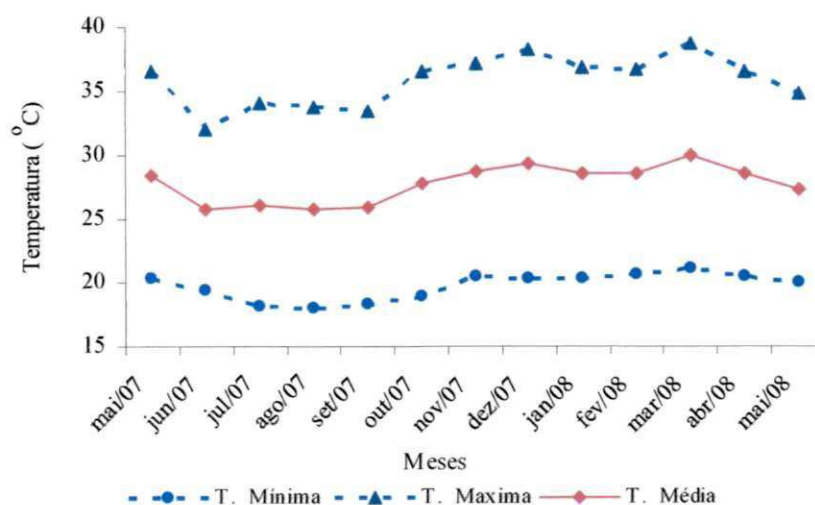


Figura 1. Médias mensais de temperatura no período de maio de 2007 a maio de 2008, Campina Grande - PB.

### 4.2. Formação de Mudanças

As mudas foram produzidas em tubetes (200 cm<sup>3</sup>), na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, utilizando sementes da variedade FT- 02, cedidas pelo Instituto Fazenda Tamanduá, localizado no município de Santa Terezinha – PB, (Figura 2). A semeadura foi realizada após seleção e eliminação de sementes defeituosas ou com danos mecânicos, no dia 07/04/2007, bem como, após a realização do teste de germinação, obtendo-



se um resultado de 89%. Antes da sementeira, as sementes foram pré-embebidas para realizar a quebra de dormência e facilitar a germinação. As sementes foram semeadas nos tubetes preenchidos com substrato orgânico esterilizado, aproximadamente a 2 cm de profundidade, a umidade foi mantida em capacidade de campo para possibilitar a seleção das plantas mais vigorosas, por ocasião do transplântio.



Figura 2. Etapa de produção de mudas do pinhão manso em tubetes.

#### **4.3. Lisímetros e Material de Solo**

Foram utilizados lisímetros de drenagem em um total de 50 (cinquenta), com capacidade de 200 litros ( $D = 0,58$  m e  $h = 75$  cm); o sistema de drenagem foi composto de tela de nylon, 5,0 L de brita, 5,0 L de areia, mangueira e dois recipientes coletores de 2 L (Figura 3).

Em cada lisímetro foram colocados cerca de 230 kg de material de solo devidamente destorroado, adubado e corrigido, conforme resultados da análise química (Tabela 3).

Durante o preenchimento dos lisímetros foram realizadas práticas de calagem e adubação do solo. Os procedimentos de calagem seguiram a metodologia proposta pela Embrapa CNPA para a cultura da mamoneira (MELO et al., 2003).



Figura 3. Lisímetros de drenagem e recipientes coletores utilizados no experimento.

O material de solo foi proveniente do Distrito de São José da Mata (Campina Grande-PB), classificado como Argissolo Acinzentado Eutrófico e coletado na profundidade de 0-30 cm (horizonte A).

Para cada 20 kg do material de solo fez-se a incorporação e mistura dos adubos (M.A.P., Uréia e  $K_2SO_4$ ) e do corretivo, até atingir o volume total utilizado para o preenchimento de cada lisímetro equivalente a 230 kg, na primeira camada de substrato (50 kg) colocada no fundo do lisímetro foi realizada apenas a correção. Verificam-se na Tabela 3, as características químicas do solo antes e após a calagem, essa análise foi realizada vinte e quatro dias após a prática de calagem.

O cálculo da necessidade de calcário (NC) foi obtido considerando-se os resultados da análise química do solo e o método que resultou em maior necessidade de calcário (elevação das bases trocáveis).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, ( $Al^{+3} = 0,80 \text{ cmolc kg}^{-1}$ ,  $Ca^{+2} + Mg^{+2} = 1,86 \text{ cmolc kg}^{-1}$  e,  $V = 59,21\%$ ) e do calcário dolomítico com PRNT = 72,50% ( $F = 1,38$ ), pelo critério de **elevação das bases trocáveis** ( $NC(t \text{ ha}^{-1}) = [2,0 \times Al^{+3} + (2,0 - (Ca^{+2} + Mg^{+2}))] \times F$ ), a necessidade de calcário foi de 75,00 g para cada 100 kg de solo (NOVAIS et al., 1991).

Na adubação de plantio foi adotado a metodologia de Novais et al. (1991) para experimentos conduzidos em ambiente protegido: 300, 100, e 150  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , N, e  $K_2O$ , respectivamente, conforme Tabela 4.

Na Tabela 5, estão os dados da análise físico-hídrica do solo, realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, conforme



metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). A Figura 4 refere-se à curva característica de retenção de umidade do solo.

Tabela 3. Características químicas do solo antes e após a prática de calagem.

Nutriente	Unidade	Antes da calagem	Após a calagem
Cálcio (Ca <sup>+2</sup> )	cmolc kg <sup>-1</sup>	0,67	1,25
Magnésio (Mg <sup>+2</sup> )	cmolc kg <sup>-1</sup>	1,19	1,55
Sódio (Na <sup>+</sup> )	cmolc kg <sup>-1</sup>	0,03	0,03
Potássio (K <sup>+</sup> )	cmolc kg <sup>-1</sup>	0,07	0,30
Soma de bases (S)	cmolc kg <sup>-1</sup>	1,96	3,13
Hidrogênio (H <sup>+</sup> )	cmolc kg <sup>-1</sup>	0,55	0,20
Alumínio (Al <sup>+3</sup> )	cmolc kg <sup>-1</sup>	0,80	0,05
Capacidade de troca catiônica (CTC)	cmolc kg <sup>-1</sup>	3,31	3,38
Saturação de bases (V)	%	59,21	92,60
Percentagem de Sódio Trocável (PST)	%	0,91	0,89
Carbono orgânico (C-Org.)	g kg <sup>-1</sup>	1,10	1,10
Matéria orgânica (M.O. = 1,724*C-Org.)	g kg <sup>-1</sup>	1,90	1,90
Nitrogênio (5 % M.O.) (N-Org.)	g kg <sup>-1</sup>	0,09	0,09
Fósforo assimilável (P)	mg kg <sup>-1</sup>	0,10	81,60
pH em água (1:2,5) (pH)	-	5,20	6,18
CE da suspensão solo-água (1:2,5) (CEsa)	dS m <sup>-1</sup>	0,19	0,29

Análise realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG/UAEA/CTRN.

Tabela 4. Adubação de plantio realizada no substrato utilizado para o preenchimento dos lisímetros.

Nutriente	Recomendação <sup>1</sup> (mg/kg/solo)	Adubo utilizado	Adubo (mg/kg/solo)	Adubo para 200kg de solo (g)	Observação
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	300	M.A.P. (52% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; 10% N)	577	116,00	Conforme recomendação de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e 58mg N kg <sup>-1</sup> solo
N	100	Uréia (45%)	94,00	18,80	Equivale a 42 mg N kg <sup>-1</sup> solo
K <sub>2</sub> O	150	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (16% S; 48% K <sub>2</sub> O)	312,15	62,50	Conforme recomendação do K <sub>2</sub> O mas corresponde a 50mg S kg <sup>-1</sup> solo (S aplicado mais que o recomendado)
S	40				

<sup>1</sup>Fonte: Novais et. al. (1991).

Tabela 5. Características físico-hídricas do substrato utilizado no experimento.

Características físico-hídricas	Unidade	Valor
Areia	g kg <sup>-1</sup>	733
Silte	g kg <sup>-1</sup>	84
Argila	g kg <sup>-1</sup>	183
Classificação textural	-	Franco-arenoso
Densidade do solo (ds)	g cm <sup>-3</sup>	1,60
Densidade das Partículas (dp)	g cm <sup>-3</sup>	2,75
Porosidade (ε)	%	41,82
Capacidade de Campo (10,13 kPa) (CC)	g kg <sup>-1</sup>	82,00
Ponto de Murchamento (1519,87 kPa) (PM)	g kg <sup>-1</sup>	20,50
Água Disponível (AD)	g kg <sup>-1</sup>	61,50

Análise realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG/CTRN

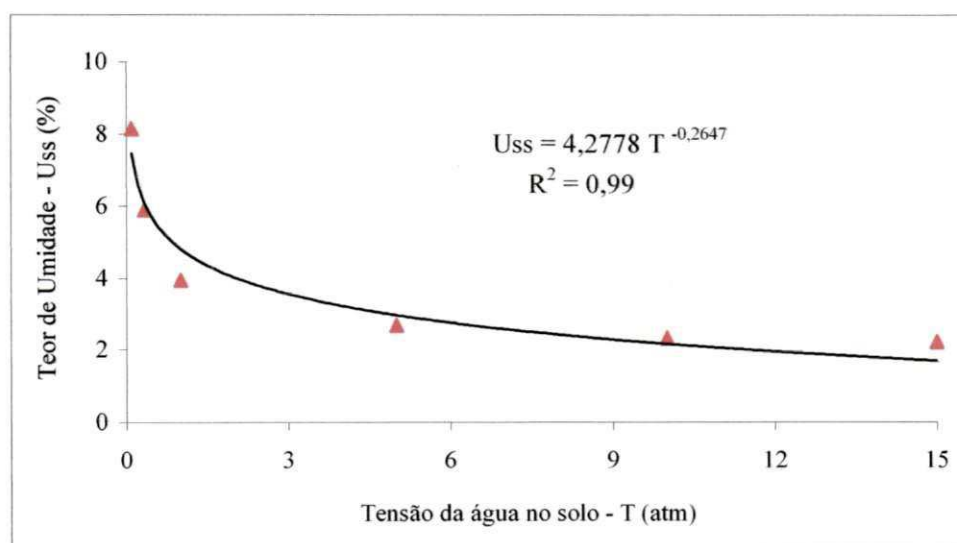


Figura 4. Curva característica de retenção de umidade do solo utilizado no experimento.

#### 4.4. Instalação do Experimento

O transplântio das mudas foi realizado no dia 26 de maio de 2007, seis dias após a calagem, quando as mudas se encontravam com 19 dias após a semeadura – DAS, período em que as plantas jovens de pinhão manso encontravam-se com a segunda folha definitiva.

Em cada lisímetro foi transplântada uma muda, previamente selecionada, de maneira homogênea, conforme seu vigor. As mudas transplântadas foram irrigadas diariamente, mantendo-se o solo em condições de capacidade de campo, de maneira a promover maior rapidez na reação do calcário. Antes do transplântio as mudas contidas nos tubetes foram irrigadas abundantemente, para facilitar a sua remoção dos recipientes e o pegamento após o transplântio.

## 4.5. Irrigação

As irrigações foram feitas obedecendo um turno de rega de dois dias, foi utilizada água residuária de esgoto bruto proveniente do Riacho Bodocongó, que circula ao longo da área experimental (UFCG), Campina Grande-PB.

A água residuária foi coletada diretamente do riacho, com um sistema composto por um recipiente de PVC com capacidade para 250 L com paredes perfuradas e envolvido por tela de malha de 1 mm, motobomba anauger submersa ('bomba sapo') com potência de 370 W, tubulação de recalque com mangueira de polietileno  $\frac{3}{4}$  e reservatório com capacidade de 1000 L, onde era armazenada a água para a irrigação.

Antes de iniciar as irrigações todos os lisímetros foram colocados em capacidade de campo. Na primeira irrigação foi aplicado em todos os lisímetros/tratamentos um volume de 2 litros, posteriormente, o manejo das irrigações foi realizado através de balanço hídrico, utilizando-se planilha eletrônica. Durante o período experimental amostras de água residuária foram coletadas e analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade - LIS, seguindo a metodologia proposta por Richards (1977), Tabela 6.

Tabela 6. Características físico-químicas da água residuária utilizada nas irrigações.

Características	Amostra N° 1	Amostra N° 2	Amostra N° 3	Média
pH	7,38	7,51	6,89	7,26
Condutividade Elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	<b>1,30</b>	<b>1,10</b>	<b>1,56</b>	1,32
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> )	42,80	67,00	54,25	54,68
Magnésio (mg L <sup>-1</sup> )	48,04	45,84	39,84	44,57
Sódio (mg L <sup>-1</sup> )	137,08	109,48	116,76	121,11
Potássio (mg L <sup>-1</sup> )	26,52	23,40	28,76	26,23
Cloretos (mg L <sup>-1</sup> )	187,88	159,52	132,85	160,08
Sulfatos (mg L <sup>-1</sup> )	62,40	58,35	54,55	58,43
Bicarbonatos (mg L <sup>-1</sup> )	491,05	412,97	554,08	486,03
Carbonatos (mg L <sup>-1</sup> )	33,00	37,80	30,54	33,78
Ferro (mg L <sup>-1</sup> )	<b>0,55</b>	<b>1,28</b>	<b>0,49</b>	0,77
Oxigênio Consumido (mg L <sup>-1</sup> )	27,50	21,07	19,85	22,81
Alcalinidade em Carbonato -CO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	55,00	62,00	57,43	58,14
Alcalinidade em Bicarbonato - HCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	402,50	389,42	414,32	402,08
Alcalinidade Total - CaCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	457,50	359,36	328,75	381,87
Dureza Total - CaCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	290,82	275,32	283,18	283,11
Relação de Adsorção de Sódio (RAS) (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	<b>3,40</b>	<b>2,51</b>	<b>2,93</b>	2,95
Classe da Água	C3	C3	C3	C3

Análise realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG/UAEAg/CTR.N.

## 4.5. Irrigação

As irrigações foram feitas obedecendo um turno de rega de dois dias, foi utilizada água residuária de esgoto bruto proveniente do Riacho Bodocongó, que circula ao longo da área experimental (UFCEG), Campina Grande-PB.

A água residuária foi coletada diretamente do riacho, com um sistema composto por um recipiente de PVC com capacidade para 250 L com paredes perfuradas e envolvido por tela de malha de 1 mm, motobomba anauger submersa ('bomba sapo') com potência de 370 W, tubulação de recalque com mangueira de polietileno  $\frac{3}{4}$  e reservatório com capacidade de 1000 L, onde era armazenada a água para a irrigação.

Antes de iniciar as irrigações todos os lisímetros foram colocados em capacidade de campo. Na primeira irrigação foi aplicado em todos os lisímetros/tratamentos um volume de 2 litros, posteriormente, o manejo das irrigações foi realizado através de balanço hídrico, utilizando-se planilha eletrônica. Durante o período experimental amostras de água residuária foram coletadas e analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade - LIS, seguindo a metodologia proposta por Richards (1977), Tabela 6.

Tabela 6. Características físico-químicas da água residuária utilizada nas irrigações.

Características	Amostra N° 1	Amostra N° 2	Amostra N° 3	Média
pH	7,38	7,51	6,89	7,26
Condutividade Elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	1,30	1,10	1,56	1,32
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> )	42,80	67,00	54,25	54,68
Magnésio (mg L <sup>-1</sup> )	48,04	45,84	39,84	44,57
Sódio (mg L <sup>-1</sup> )	137,08	109,48	116,76	121,11
Potássio (mg L <sup>-1</sup> )	26,52	23,40	28,76	26,23
Cloretos (mg L <sup>-1</sup> )	187,88	159,52	132,85	160,08
Sulfatos (mg L <sup>-1</sup> )	62,40	58,35	54,55	58,43
Bicarbonatos (mg L <sup>-1</sup> )	491,05	412,97	554,08	486,03
Carbonatos (mg L <sup>-1</sup> )	33,00	37,80	30,54	33,78
Ferro (mg L <sup>-1</sup> )	0,55	1,28	0,49	0,77
Oxigênio Consumido (mg L <sup>-1</sup> )	27,50	21,07	19,85	22,81
Alcalinidade em Carbonato -CO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	55,00	62,00	57,43	58,14
Alcalinidade em Bicarbonato -HCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	402,50	389,42	414,32	402,08
Alcalinidade Total - CaCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	457,50	359,36	328,75	381,87
Dureza Total - CaCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	290,82	275,32	283,18	283,11
Relação de Adsorção de Sódio (RAS) (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	3,40	2,51	2,93	2,95
Classe da Água	C3	C3	C3	C3

Análise realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCEG/UAEAg/CTRN.

#### 4.6. Tratamentos e Delineamento Estatístico

A aplicação dos tratamentos ocorreu 37 dias após a sementeira – DAS (18 dias após o transplante - DAT) durante o período maio de 2007 a maio de 2008. Foram estudados 5 níveis de reposição de água ( $Nr_1 = 0,25$ ;  $Nr_2 = 0,50$ ;  $Nr_3 = 0,75$ ;  $Nr_4 = 1,00$  e  $Nr_5 = 1,25$  da evapotranspiração), e um tratamento testemunha (T), em que as plantas não foram irrigadas com água residuária, e foram repostos 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). No tratamento testemunha a água de irrigação apresentava baixa condutividade elétrica ( $CE_{ai} = 0,60 \text{ dS m}^{-1}$ ).

O experimento foi distribuído em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo a parcela constituída de 2 plantas (1 planta/lisímetro), perfazendo o total de 40 lisímetros (5 níveis de reposição da evapotranspiração x 4 blocos x 2 lisímetros). Somado aos 40 lisímetros mais 10 lisímetros do tratamento testemunha (T), totalizando assim 50 lisímetros de drenagem no experimento. Os lisímetros contendo as plantas do tratamento testemunha foram distribuídos em blocos casualizados dentro de outro experimento.

Foi adotado um espaçamento de 1,70 x 1,40m das parcelas experimentais dentro do bloco e 1,60 m entre blocos. Na Figura 5, pode ser verificada a distribuição do experimento.

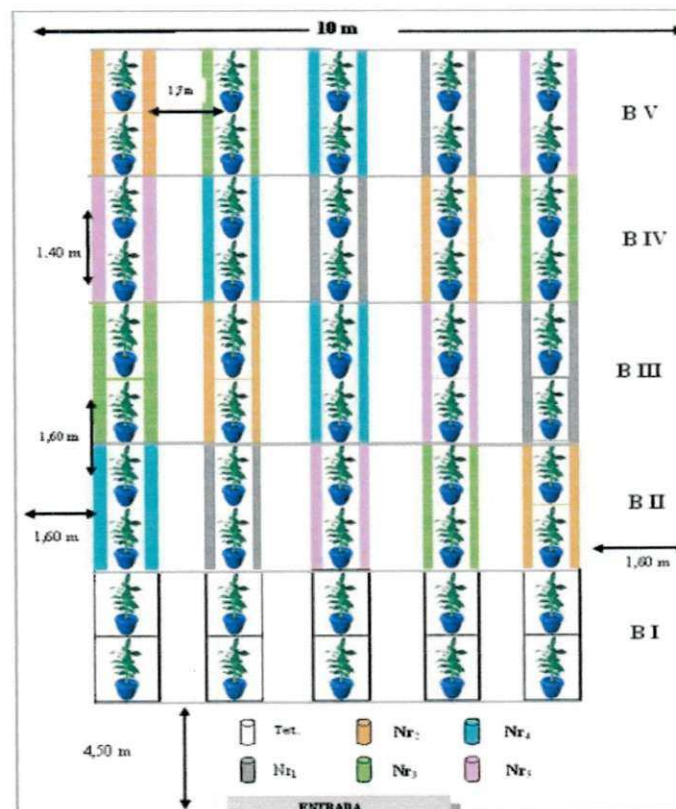


Figura 5. Croqui do experimento instalado no interior da casa de vegetação.

#### 4.7. Tratos culturais e Fitossanitários

Os tratos culturais consistiram de adubações de cobertura, adubações foliares e eliminação de folhas não funcionais das plantas.

As adubações de cobertura foram feitas durante o período experimental em intervalos de duas semanas, aplicando-se sulfato de amônia -  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  e cloreto de potássio - KCl nas plantas.

Aos 95 dias após o transplântio foi feita a primeira adubação de cobertura, sendo aplicados 3g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 4g KCl por planta, posteriormente foi seguido um calendário. Aos 109 DAT (3g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 4g KCl); 123, 137 e 151 DAT (3g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ); 165 e 179 DAT (3g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 4g KCl); 193, 207 e 221 DAT (3g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ); 235 e 249 DAT (3g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 4g KCl); 263, 277 e 291 DAT (3g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ); 305 e 319 DAT (3g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  + 4g KCl); 333, 347, 361 e 375 DAT (3g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), conforme recomendação de Novais et. al. (1991).

Foram feitas adubações foliares com uma solução de zinco + cobre (0,05%), visando o controle dos sintomas de deficiência de zinco e cobre, principalmente o encarquilhamento (Figura 9A). Além da aplicação de ALBATRÓS 1,80g L<sup>-1</sup> (N - P - K - Mg: 7-17-35-3, + micronutrientes).

Um outro trato cultural realizado foi a remoção do excesso de folhas axilares não funcionais das plantas, essa prática ocorreu sempre no ato do aparecimento dessas, objetivando melhoria na produção das plantas.

No decorrer do período experimental foi constatada a presença de algumas pragas, as quais foram controladas mediante pulverizações periódicas. Foi verificado o ataque de cigarrinha verde (*Empoasca kraemeri*), mosca branca (*Bemisia tabaci*) ácaro branco (*Polyphagotarsonemus latus*) e ácaro vermelho (*Tetranychus desertorum*).

O controle do ácaro foi realizado através da aplicação do acaricida, cujo ingrediente ativo é conhecido como Abamectina + óleo vegetal Agro-oil. A cigarrinha verde foi controlada com o extrato do próprio pinhão manso, obtendo-se 100% do controle. Foram adotadas todas as medidas culturais indicadas para o controle e a rotação dos agroquímicos com extratos vegetais objetivando-se evitar o surgimento de resistência.

## 4.8. Variáveis de Crescimento

### 4.8.1. Altura de Plantas (AP) e Diâmetro caulinar (DC)

A altura das plantas foi determinada inicialmente aos 18 dias após o transplante (DAT), no início da aplicação dos tratamentos. Posteriormente, foram realizadas medições dessa variável a cada 42 dias, aos 60, 102, 144, 186, 228, 270, 312, 354 e 396 DAT.

Essa variável foi determinada com fita métrica (cm), adotando-se como critério de determinação a distância entre o colo da planta e a extremidade do broto terminal do ramo principal.

A determinação da variável diâmetro caulinar das plantas de pinhão manso ocorreu nos mesmos períodos que a variável altura das plantas (*item 4.5.1*). As leituras (mm) foram realizadas no colo da planta a uma altura aproximada de 3 cm, utilizando-se um paquímetro.

### 4.8.2. Número de Folhas (NF) e Área Foliar (AF)

O número de folhas por planta foi determinado a cada 42 dias, assim como a altura de plantas e o diâmetro caulinar. Foram consideradas na contagem, as folhas com tamanho acima de 3 cm, aproximadamente.

A área foliar por planta foi determinada conforme metodologia proposta por Severino et al. (2006), de acordo com a Equação 1.

$$AF = 0,89P^2 \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

AF = área foliar (m<sup>2</sup>)

P = Comprimento da nervura principal (m)

## 4.9. Variáveis Fisiológicas

### 4.9.1. Taxas de Crescimento Absoluto em Altura de Plantas e Diâmetro Caulinar

A partir dos resultados das variáveis de crescimento altura de plantas e diâmetro caulinar, determinou-se as taxas de crescimento absoluto em altura de plantas (TCA AP), e em diâmetro caulinar (TCA DC), Equações 2 e 3, nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-

186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 DAT, de acordo a metodologia proposta por Silva et al. (2000).

$$TCA_{AP} = \frac{AP_2 - AP_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Eq. 2}$$

$$TCA_{DC} = \frac{DC_2 - DC_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

TCA AP = Taxa de crescimento absoluto em altura de plantas (cm dia<sup>-1</sup>);

AP<sub>1</sub> = Altura da planta no tempo t<sub>1</sub> (cm);

AP<sub>2</sub> = Altura da planta no tempo t<sub>2</sub> (cm);

TCA DC = Taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar (mm dia<sup>-1</sup>);

DC<sub>1</sub> = Diâmetro do caulinar no tempo t<sub>1</sub> (mm);

DC<sub>2</sub> = Diâmetro do caulinar no tempo t<sub>2</sub> (mm).

#### 4.9.2. Taxas de Crescimento Relativo em Altura de Plantas e Diâmetro Caulinar

Seguindo os mesmos procedimentos utilizados na determinação da taxa de crescimento absoluto em altura e diâmetro caulinar das plantas, obteve-se a taxa de crescimento relativo dessas variáveis (TCR AP e TCR DC), conforme Silva et al. (2000), aplicando-se as Equações 4 e 5.

$$TCR_{AP} = \frac{\ln AP_2 - \ln AP_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Eq. 4}$$

$$TCR_{DC} = \frac{\ln DC_2 - \ln DC_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

TCR AP = Taxa de crescimento relativo em altura de plantas (cm cm dia<sup>-1</sup>);

TCR DC = Taxa de crescimento relativo em diâmetro caulinar (mm mm dia<sup>-1</sup>).



### **4.9.3. Fluorescência da Clorofila 'a'**

A eficiência quântica do fotossistema II foi determinada aos 90, 140 e 386 dias após transplântio no horário da manhã, a partir das 9 horas. Foram colocados na quarta folha mais nova do ramo de cada planta 'clipes', conforme Durães et al. (2000), por aproximadamente 1 hora.

Foram determinadas leituras da fluorescência basal ou inicial ( $F_o$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ), fluorescência máxima ( $F_m = F_o + F_v$ ), da relação  $F_v/F_o$  e a eficiência do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), através do Fluorômetro PEA II – Plant Efficiency Analyser (Hansatech Instruments Co, UK) (SCHOLLES e HORTON, 1993).

## **4.10. Variáveis de Produção**

### **4.10.1. Emissão das Primeiras Inflorescências e Número de Cachos**

Houve registro da emissão das três primeiras inflorescências, em dias após o transplântio (DAT).

O número de cachos de cada planta foi determinado mediante a identificação de cada cacho na planta com um cordão, sendo assim, no final da produção, foi realizada a contagem do número de cordões de cada planta, obtendo-se o número de cachos por planta.

### **4.10.2. Número e Peso Médio de Frutos**

A colheita dos frutos foi feita diariamente devido à heterogeneidade da maturação apresentada pela espécie. A coleta foi realizada quando os frutos estavam totalmente maduros Figura 6.

Os frutos de cada planta eram coletados, contados e separadas as cascas das sementes, posteriormente colocados para secar ao sol. No final da produção, obteve-se o número médio de frutos por tratamento.

Após o processo de secagem, foram realizadas pesagens com balança de precisão (0,01g), separadamente casca e semente, e obtido o peso médio dos frutos. Finalizado o experimento, obteve-se o peso médio dos frutos de toda produção.



Figura 6. Frutos de pinhão manso adequados para colheita.

#### **4.10.3. Teor de Óleo das Sementes**

O conteúdo de óleo das sementes foi determinado em dois períodos no decorrer da produção. A 1ª amostra de sementes foi separada aos 169 dias após a emissão da primeira inflorescência (249 DAT); a segunda amostra de sementes foi analisada aos 396 DAT, período final da produção.

A determinação do conteúdo de óleo nas sementes de pinhão manso, utilizando-se o método Soxhlet, foi realizada com base em procedimentos adaptados da norma analítica do Instituto Adolfo Lutz (PREGNOLATTO e PREGNOLATTO, 1985). Foi empregada a extração direta com etanol (pa). Amostras de 150 g de sementes foram trituradas, para aumentar a superfície de contato com o solvente e submetidas a um processo de secagem (60°C) em estufa de circulação forçada por 96 horas. As sementes secas e trituradas foram acondicionadas no Soxhlet e extraídas com cerca de 500 ml de etanol (pa), por um período de 10 horas, a uma temperatura de 80°C. Após o término da extração, o solvente foi evaporado do óleo por destilação.

#### **4.11. Variáveis de Balanço Hídrico**

##### **4.11.1. Evapotranspiração da Cultura (ETc)**

Determinou-se a evapotranspiração da cultura - ETc nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 DAT, intervalo de 42 dias correspondente às avaliações experimentais. Foi calculada pela diferença entre o volume

aplicado na irrigação e o volume drenado em litro dividido pela área (m<sup>2</sup>) de exposição do lisímetro, aplicando-se a Equação 6.

$$ETc = \frac{VA - VD}{S} * \frac{1}{TR} \quad \text{Eq. 6}$$

Em que:

ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>)

VA = Volume de água aplicado em cada irrigação (L)

VD = Volume de água drenado em cada irrigação (L)

S = Área de exposição do lisímetro para o diâmetro de 0,58m (0,2642 m<sup>2</sup>)

TR = Turno de rega (2 dias)

#### 4.11.2. Consumo de Água (C.A.)

O consumo de água (C.A.) pelas plantas durante o experimento foi determinado nos mesmos períodos que a ETc, através de balanço hídrico (volume aplicado – volume drenado), aplicando-se a Equação 7.

O consumo total de água (C.T.A.) foi calculado através da diferença do volume aplicado pelo volume drenado no período de 18-396 DAT, conforme Doorenbos e Kassam (1994).

$$C.A. = \sum VA - \sum VD \quad \text{Eq. 7}$$

#### 4.11.3. Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ETo)

A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada a partir da Equação 8, pelo método de Hargreaves e Samani (1985), e a partir da Equação 9, através do método de Penman-Monteith, Padrão da FAO -56 (Allen et al., 1998), como tentativa de validar a metodologia para ambiente protegido. As estimativas foram feitas com base nas temperaturas do ambiente protegido e nas temperaturas do ambiente externo. Os dados do ambiente externo foram cedidos pela Estação Meteorológica da Embrapa CNPA, Campina Grande –PB.

No cálculo da evapotranspiração pelo modelo de Penman-Monteith, foi utilizado o programa computacional SEVAP (Sistema de Estimativa da Evapotranspiração), desenvolvido pelo Departamento de Ciências Atmosféricas, do CTRN/UFCG.

$$ET_o = 0,0023 \times Q_o \times \sqrt{(T_{máx} - T_{mín})} \times (T_m + 17,8) \quad \text{Eq. 8}$$

Em que:

$ET_o$  = Evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ )

$Q_o$  = Radiação solar, em equivalente de evaporação ( $\text{mm dia}^{-1}$ )

$T_{máx.}$  = Temperatura máxima diária ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{mín.}$  = Temperatura mínima diária ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_m$  = Temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ )

$K_c$  = Coeficiente de cultivo

$ET_c$  = Evapotranspiração da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), Equação 6.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left( \frac{900 U_2}{T + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad \text{Eq. 9}$$

Em que:

$R_n$  = é o saldo diário de radiação ( $\text{MJ m dia}^{-1}$ )

$G$  = é o fluxo de calor no solo diário ( $\text{MJ m dia}^{-1}$ )

$T$  = é a temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$U_2$  = é a velocidade do vento média diária a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ )

$e_s$  = é a pressão da saturação do vapor média diária (kPa)

$e_a$  = é a pressão atual de vapor média diária (kPa)

$D$  = é a declividade da curva de pressão de vapor d'água no ponto de  $T_{média}$  ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$g$  = é o coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

#### 4.11.4. Coeficiente de Cultivo (Kc)

Os coeficientes de cultivo (Kc) do pinhão manso foram determinados nos diferentes períodos estudados, através da razão entre ETc (Método do balanço hídrico) e ETo (Métodos de Samani-Hargreaves e Penman-Monteith), conforme Doorenbos e Kassam (1979), Equação 10. Foram calculados os Kc com as temperaturas internas e externas da casa de vegetação, notadamente para o tratamento Nr<sub>4</sub> (1,00 da ETc), ou seja, na ausência de estresse hídrico.

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad \text{Eq. 10}$$

#### 4.11.5. Eficiência de Uso da Água (E.U.A.)

A eficiência de uso de água foi determinada através da relação entre o peso das sementes (kg) e o consumo total de água pelas plantas (m<sup>3</sup>), Equação 11, conforme Doorenbos e Kassam (1994).

$$E.U.A. = \frac{\text{Peso das sementes}}{C.T.A.} \quad \text{Eq. 11}$$

#### 4.12. Condutividade Elétrica da Água de Drenagem (CEad)

Nos tratamentos com água residuária, apenas no Nr<sub>4</sub> (1,00 da ETc) e no Nr<sub>5</sub> (1,25 da ETc), ocorreu drenagem. Nestes tratamentos foi medido o volume drenado de cada evento de irrigação e determinada a condutividade elétrica da água de drenagem (CEad) a cada duas semanas, utilizando-se um condutímetro portátil, com correção de temperatura para 25° C. A CEad foi obtida nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 DAT, aplicando-se os resultados na Equação 12 (AYERS e WESTCOT, 1999).

$$CEad \text{ media} = \frac{\sum (CEad * VD)}{\sum VD} \quad \text{Eq. 12}$$

Assim como nos tratamentos com água residuária (Nr<sub>4</sub> e Nr<sub>5</sub> da ETc), no tratamento testemunha (T) em que as plantas foram irrigadas com água de abastecimento (CEai = 0,60

dS m<sup>-1</sup>), foi monitorado o volume drenado de cada irrigação e a condutividade da água de drenagem nos mesmos períodos.

#### **4.13. Fração de Lixiviação (FL)**

Conhecido o volume drenado e o volume aplicado, foi calculada a fração de lixiviação (FL), nos mesmos períodos descritos no item 4.12., conforme a Equação 13 (AYERS e WESTCOT, 1999). Não foi realizada análise estatística dos resultados da fração de lixiviação devido aos tratamentos Nr<sub>1</sub>, Nr<sub>2</sub> e Nr<sub>3</sub>, que são inferiores a 100% da ETc.

$$FL = \frac{VD}{VA} \quad \text{Eq. 13}$$

A fração de lixiviação (FL) média obtida pela relação VD/VI (volume drenado/volume aplicado na irrigação) foi calculada nas mesmas datas acima relacionadas; para essas variáveis não se fez análise estatística pela razão de não se ter dados relativos aos níveis de reposição abaixo de 100 % da evapotranspiração.

#### **4.14. Análise de Fertilidade do Solo no Final do Experimento**

No final do experimento, amostras compostas de solo em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) foram coletadas para realização de análises laboratoriais, visando-se observar os efeitos da aplicação da água residuária nas propriedades do solo. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em peneiras com malha de 2 mm. Posteriormente, analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade/UFCG. No tratamento testemunha, também procedeu-se análises. Determinou-se as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, pH, condutividade elétrica do extrato de saturação, conforme metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997).

Para o pH, a análise de variância foi procedida com os valores da concentração de hidrogênio ([H<sup>+</sup>] = 10<sup>-pH</sup>) e depois se aplicou a escala de pH nas médias (pH = - log [H<sup>+</sup>]) (SANTOS e GHEYI, 2003).

#### **4.15. Análises Estatísticas**

Transcorrido o período experimental, os dados foram tabulados e submetidos a análises de variância, de médias e de regressões polinomiais, utilizando-se o programa SISVAR, conforme metodologia de Ferreira (1998).

Os contrastes (níveis de reposição da evapotranspiração *versus* tratamento testemunha) entre as médias foram avaliados pelo teste “F” (5 % de probabilidade). Os graus de liberdade dos tratamentos com ‘Nr’ foram decompostos em componentes de regressão polinomial devido se tratar de fator quantitativo, adotou-se para a construção das curvas o maior grau de regressão significativo (FERREIRA, 2000). Em relação às componentes de produção número e peso de frutos e número de cachos, a curva foi feita através de Exponencial (X), melhor modelo de ajuste dos dados, de forma semelhante, aconteceu a partir dos 186 dias após o transplântio com as variáveis evapotranspiração da cultura e consumo de água.

Foram feitas as curvas de evolução das variáveis de crescimento, em função dos diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Os dados das variáveis altura de plantas e diâmetro caulinar foram mais bem ajustados ao modelo logarítmico, enquanto os dados do número de folhas e da área foliar se ajustaram ao modelo polinomial cúbico.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Variáveis de Crescimento

#### 5.1.1. Altura de Plantas (AP)

Ocorreu efeito significativo dos níveis de reposição da evapotranspiração (Nr), na altura de plantas (AP), em todos os períodos estudados, exceto aos 18 dias após o transplântio, período de início dos tratamentos (Tabela 7). Com base nessas informações, pode-se afirmar a sensibilidade da espécie *Jatropha* às condições de estresse hídrico. Não havendo informações na literatura que confirmem tais evidências, será feita referência com a cultura da mamona, planta da mesma família do pinhão manso. Rodrigues (2008) estudando a cultura da mamona verificou que a altura das plantas foi afetada quando irrigada com 60% da evapotranspiração. Ainda analisando os dados contidos na Tabela 7, observa-se baixo coeficiente de variação em todos os períodos estudados, determinando uma boa precisão experimental.

Na Figura 7, são apresentados os valores médios da altura de plantas em diferentes estágios de desenvolvimento. Verifica-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados da variável AP, foi o linear dos 60 DAT até o último período estudado (396 DAT), observa-se na Figura 7A, aos 18 DAT efeito não significativo dos tratamentos (início dos tratamentos).

Aos 60 dias após o transplântio (Figura 7A), aplicando-se o modelo linear para altura de plantas, houve um aumento de 0,2245 cm (0,44%) na variável altura da planta, por cada centésimo de incremento da evapotranspiração.

Analisando-se o comportamento dessa variável nos períodos 102 e 144 DAT (Figura 7B), 186 e 228 DAT (Figura 7C), 270 e 312 DAT (Figura 7D), 354 e 396 DAT (Figura 7E), constata-se que para cada centésimo de incremento da evapotranspiração, ocorreu um aumento de 0,4215 e 0,526, 0,6015 e 0,725, 0,783 e 0,922, 1,017 e 1,1125 cm, respectivamente, na altura das plantas. Em termos percentuais esse aumento equivale a 0,48, 0,51, 0,53, 0,63, 0,64, 0,72, 0,74 e 0,77%.

O incremento do suprimento hídrico ocasionou um maior crescimento em altura das plantas durante todo o período estudado. Pelos resultados apresentados (Tabela 7 e Figura 7), a melhor resposta na altura das plantas de pinhão manso ocorreu nos tratamentos de maior nível de reposição da ETc, indicando que o pinhão manso é uma cultura sensível ao estresse hídrico. Para Hsiao (1973), muitos processos fisiológicos das plantas são afetados pelo déficit



hídrico, e, como o crescimento das plantas é controlado pela divisão celular, seguido de sua expansão, uma quantidade de água insuficiente mantendo células das zonas de crescimento em condições de flacidez, reduz o coeficiente de divisão celular e a expansão de todas as células, impedindo assim o crescimento vegetativo das plantas. Pires et al. (2001) relataram que a falta ou o excesso de água afeta o crescimento da planta. Em pesquisas com a cultura da mamona Barros Júnior (2007), verificou que a altura média das plantas cultivadas sem estresse (100 % de água disponível) aos 180 dias após semeadura – DAS, foi de 1,28 m. Já para Rodrigues (2008), utilizando água residuária determinou aos 174 DAS altura média das plantas de mamona de 1,49 m; o autor atribui tal diferença possivelmente ao aporte de nutrientes da água residuária, dessa forma, contribuindo para um maior crescimento das plantas.

Albuquerque et al. (2008), avaliando diferentes doses de nitrogênio e níveis de água disponível no solo, verificaram aos 150 DAS que as plantas de pinhão manso que apresentaram maiores alturas foram aquelas que receberam a maior dose de nitrogênio (180 kg ha<sup>-1</sup>) e o maior nível de água disponível no solo (100%).

Nessa pesquisa, foram observados maiores incrementos no crescimento das plantas no decorrer do tempo, possivelmente devido às adubações de cobertura com (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e KCl, realizadas periodicamente, bem como, aos nutrientes contidos na água residuária.

Nos dados de análise de variância entre os tratamentos com níveis de reposição da evapotranspiração e o tratamento testemunha - plantas não irrigadas com água residuária, com baixa condutividade elétrica (0,60 dS m<sup>-1</sup>) e reposição de 100% de suas necessidades hídricas Tabela 8, foi verificado efeito significativo sobre a altura das plantas em todos os períodos.

No contraste entre as plantas irrigadas com 0,25 da ETc e o tratamento testemunha (100% da ETc) ocorreu efeito significativo sobre a altura das plantas na maioria das épocas de avaliação (Tabela 8). Nas plantas irrigadas com 0,50 e 0,75 da evapotranspiração *versus* o tratamento testemunha ocorreu efeito significativo sobre a altura das plantas aos 60 DAT, com maior tendência observada após 270 dias após o transplântio, ou seja, as plantas do tratamento testemunha atingiram maior altura, em relação às plantas cultivadas sob limitação hídrica.

Já para os contrastes entre as plantas que receberam 1,00 e 1,25 da ETc *versus* o tratamento testemunha foi observada tendência de efeito dos tratamentos a partir dos 144 DAT até o final do experimento (396 DAT). As plantas do tratamento Nr<sub>4</sub> - 1,00 da ETc alcançaram aos 144 DAT altura aproximada de 154 cm, enquanto no tratamento testemunha a

altura das plantas atingiu em torno de 141 cm. Nesse mesmo período, registrou-se nas plantas do Nr<sub>5</sub> - 1,25 da ETc, altura aproximada de 169 cm.

No final das observações, aos 396 DAT havia plantas com altura média de 2,5 (Nr<sub>4</sub>) a 2,8 (Nr<sub>5</sub>) metros. Tais resultados corroboram as informações citadas por Arruda et al. (2004), em que relatam que o pinhão manso é uma cultura característica de crescimento rápido e atinge altura de dois a três metros quando adulta, podendo alcançar até cinco metros em condições especiais. Ratre (2004), avaliando o crescimento do pinhão manso na Tailândia, observou que mudas dessa espécie atingiram altura média entre 83 e 110 cm com 14 meses de idade.

Tabela 7. Resumo das análises de regressão da altura de plantas do pinhão manso irrigado com água residuária aos 18, 60, 102, 144, 186, 228, 270, 312, 354 e 396 DAT.

Fonte de variação	Gl.	Quadrados Médios									
		18 DAT	60 DAT	102 DAT	144 DAT	186 DAT	228 DAT	270 DAT	312 DAT	354 DAT	396 DAT
Nível de Reposição (Nr)	4	3.9718 <sup>ns</sup>	352.6062*	1230.1062**	1810.5500**	2333.8312**	3358.4375**	3932.4562**	5546.2812**	6854.6437**	8231.2312**
Regressão Linear	1	0,1265 <sup>ns</sup>	1260.0062**	4441.5562**	6916.9000**	9045.0562**	13140.6250**	15327.2250**	21252.1000**	25857.2250**	30941.4062**
Regressão Quadrática	1	10.5016 <sup>ns</sup>	69.7544 <sup>ns</sup>	202.5402 <sup>ns</sup>	92.5714 <sup>ns</sup>	59.0402 <sup>ns</sup>	0.4464 <sup>ns</sup>	14.0000 <sup>ns</sup>	224.0000 <sup>ns</sup>	553.1428 <sup>ns</sup>	710.7187 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	1	2.2562 <sup>ns</sup>	71.5562 <sup>ns</sup>	273.0062 <sup>ns</sup>	204.7562 <sup>ns</sup>	178.5062 <sup>ns</sup>	131.4062 <sup>ns</sup>	198.0250 <sup>ns</sup>	429.0250*	668.3062 <sup>ns</sup>	902.5000*
Regressão 4º grau	1	3.0036 <sup>ns</sup>	9.1080 <sup>ns</sup>	3.3223 <sup>ns</sup>	27.9723 <sup>ns</sup>	52.7223 <sup>ns</sup>	161.2723 <sup>ns</sup>	190.5750 <sup>ns</sup>	280.0000*	339.9009 <sup>ns</sup>	370.3000 <sup>ns</sup>
Blocos	3	10.0781 <sup>ns</sup>	54.1000 <sup>ns</sup>	45.2500 <sup>ns</sup>	244.8167*	211.0167 <sup>ns</sup>	135.1667 <sup>ns</sup>	69.0792 <sup>ns</sup>	36.6833 <sup>ns</sup>	56.1833 <sup>ns</sup>	74.4833 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	2,3906	73.2979	59.4896	44.8583	117.9229	139.3125	56.5895	49.0479	204.0687	176.2646
CV(%)		7.46	12.57	6.49	4.69	6.89	6.94	4.17	3.56	6.66	5.84

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 8. Resumo das análises de variância e médias da altura de plantas do pinhão manso irrigado com água residuária em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.

Fonte de variação	Gl.	Quadrados Médios									
		18 DAT	60 DAT	102 DAT	144 DAT	186 DAT	228 DAT	270 DAT	312 DAT	354 DAT	396 DAT
Tratamentos	5	10.8276 <sup>ns</sup>	445.3667**	1002.6354**	1451.6667**	1972.0667**	2966.9167**	3621.2250**	5325.1917**	7155.3854**	8640.3354**
Blocos	3	6.2942 <sup>ns</sup>	29.6805 <sup>ns</sup>	52.7048 <sup>ns</sup>	262.2778*	228.4583 <sup>ns</sup>	125.5278 <sup>ns</sup>	100.0694 <sup>ns</sup>	46.7500 <sup>ns</sup>	104.3715 <sup>ns</sup>	100.5382 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	4,8401	78.4722	96.0798	70.8111	108.0833	128.8778	57.4861	47.9083	171.4298	143.7465
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	15.1250 <sup>ns</sup>	1875.7812**	2161.5312**	1711.1250**	979.0312**	684.5000*	544.5000**	639.0312**	300.1250 <sup>ns</sup>	344.5312 <sup>ns</sup>
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	16.5312 <sup>ns</sup>	561.1250*	136.1250 <sup>ns</sup>	30.031250 <sup>ns</sup>	40.5000 <sup>ns</sup>	166.5312 <sup>ns</sup>	472.7812*	1352.0000**	3260.2812**	4117.7812**
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	47.5312**	420.5000*	9.0312 <sup>ns</sup>	16.531250 <sup>ns</sup>	288.0000 <sup>ns</sup>	520.0312 <sup>ns</sup>	1035.1250**	2380.5000**	4950.1250**	6216.1250**
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	31.0078*	236.5312 <sup>ns</sup>	11.2812 <sup>ns</sup>	357.78125*	1365.0312**	2907.0312**	4163.2812**	6962.0000**	11212.5312**	13448.0000**
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	12.5000 <sup>ns</sup>	60.5000 <sup>ns</sup>	420.5000 <sup>ns</sup>	1554.0312**	3570.1250**	6641.2812**	8778.1250**	13081.5312**	19061.2812**	23166.2812**
CV(%)		10.33	12.53	8.19	5.90	6.69	6.81	4.30	3.63	6.35	5.50
Tratamentos		Médias (cm)									
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		21.3750	53.1250	91.2500	111.5000	122.8750	131.0000	137.3750	142.3750	152.1250	158.5000
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		21,2500	67.0000	115.8750	136.8750	149.5000	158,6250	169.2500	186.2500	204.7500	217.0000
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		19,2500	69.2500	122.0000	143.6250	157.0000	165.6250	176.6250	194.7500	214.1250	227.3750
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		20,1875	72.8750	126.5000	154.1250	171.1250	187.6250	199.5000	219.2500	239.2500	253.6250
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		21,6250	78.2500	138.6250	168.6250	187,2500	207.1250	220,1250	241,1250	262.0000	279,2500
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		24,1250	83.7500	124.1250	140.7500	145,0000	149.5000	153.8750	160,2500	164,3750	171,6250

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

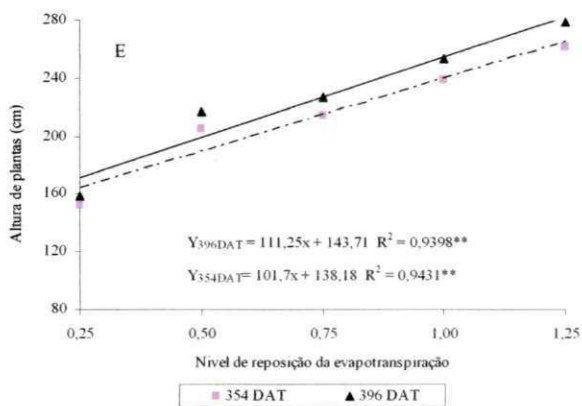
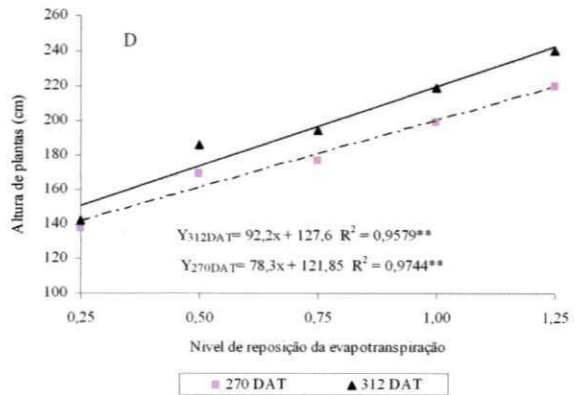
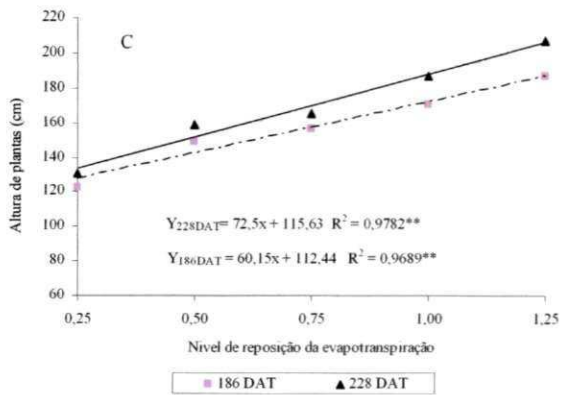
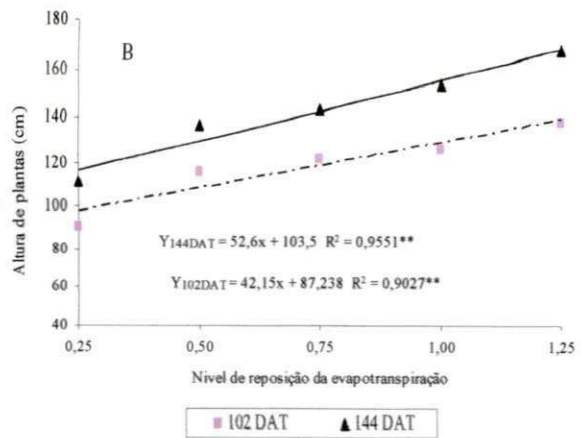
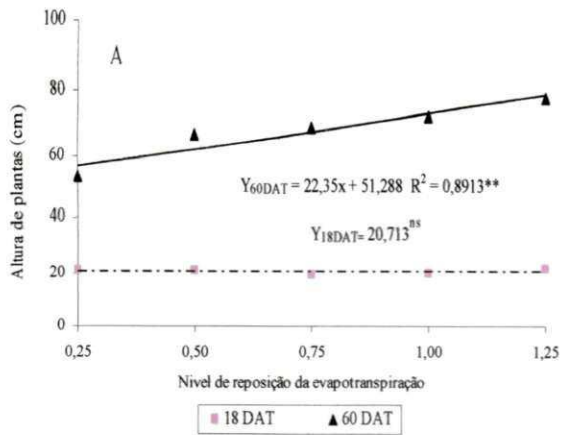


Figura 7. Valores médios da altura de plantas do pinhão manso aos 18, 60, 102, 144, 186, 228, 270, 312, 354 e 396 DAT, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.

Na Figura 8, encontram-se as médias de altura das plantas de pinhão manso obtidas de acordo com os períodos de avaliação e níveis de reposição da evapotranspiração testados. Ocorreu efeito altamente significativo dos níveis de reposição da evapotranspiração ( $N_r$ ), sobre a altura das plantas do pinhão manso, ao longo do ciclo, em todos os tratamentos (0,25, 0,50, 0,75, 1,00 e 1,25 da ETc). Os dados dessa variável foram mais bem ajustados ao modelo logarítmico, diferindo estatisticamente ( $p < 0,01$ ) pelo teste F.

Nas condições de baixa umidade do solo foram observadas plantas de crescimento bem inferior àquelas cultivadas sob condições de maior disponibilidade hídrica no solo,

Analisando-se a altura atingida pelas plantas aos 60 DAT, nos tratamentos de menor (0,25 da ETc) e maior (1,25 da ETc) nível de reposição da evapotranspiração, ocorreu em média crescimento de 53,12 e 78,25 cm, respectivamente. No entanto, ao final do ciclo (396 DAT), esses valores alcançaram 158,50 e 279,25 cm de altura, respectivamente, para 0,25 e 1,25 da ETc, (Tabela 8 e Figura 8).

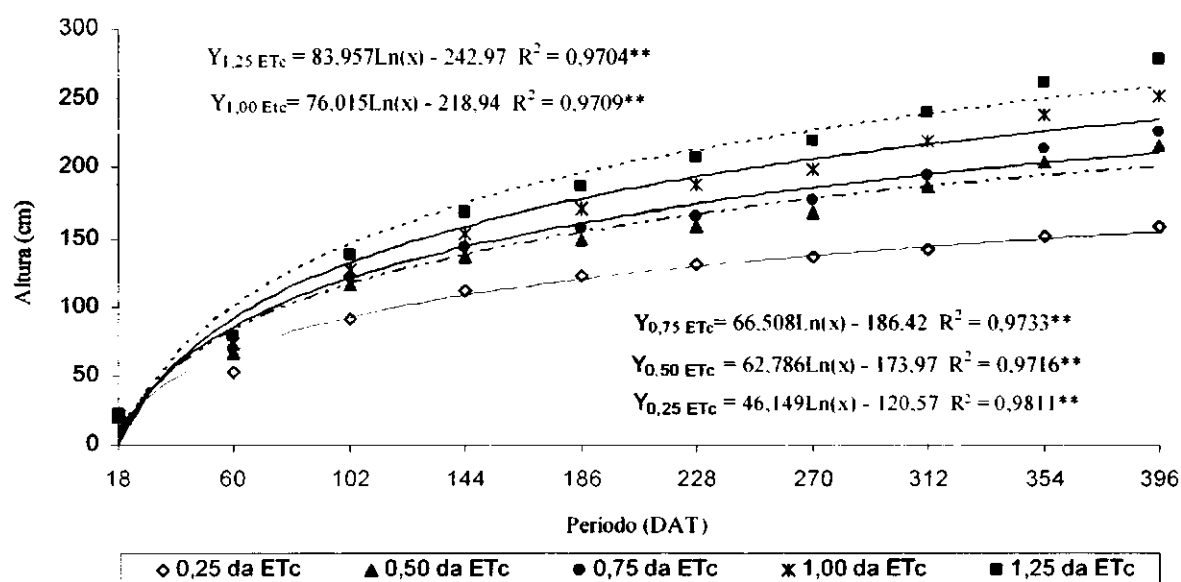


Figura 8. Curvas de evolução da altura de plantas do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.

### 5.1.2. Diâmetro Caulinar (DC)

Os níveis de reposição da evapotranspiração promoveram efeitos significativos na variável de crescimento diâmetro caulinar em todos os períodos estudados. Os dados do diâmetro caulinar (Tabela 9) ajustaram-se ao modelo linear ( $p < 0,01$ ). À semelhança da variável altura de plantas, o diâmetro caulinar foi menor nas condições de baixa umidade do solo. Na Figura 9, pode ser observado o crescimento do diâmetro caulinar das plantas em função dos diferentes níveis de reposição da ETc. Conforme os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), percebe-se alto índice de associação entre os tratamentos e a variável estudada.

O diâmetro caulinar do pinhão manso aumentou com a maior disponibilidade de água no solo Figura 9 A, B, C, D e E. Constata-se, nas dez avaliações, efeito linear positivo e, segundo as equações lineares, foi estimado um aumento de 0,0479, 0,1437, 0,1963, 0,2439, 0,2942, 0,2117, 0,224, 0,2474 e 0,3687 mm no diâmetro caulinar das plantas, por cada

centésimo de incremento da evapotranspiração, respectivamente, para as avaliações experimentais ocorridas aos 60, 102, 144, 186, 228, 270, 312, 354 e 396 dias após o transplântio. Observa-se, portanto, através desses resultados, e nas condições dessa pesquisa, que os maiores acréscimos no diâmetro caulinar ocorreram com a idade das plantas.

A sensibilidade do pinhão manso ao estresse hídrico foi mais acentuada no crescimento em diâmetro, com relação à altura de plantas. Albuquerque et al. (2008) avaliando a influência de níveis de água disponível no solo no crescimento em diâmetro caulinar do pinhão manso, observaram aos 150 DAS os maiores diâmetros no tratamento com 100% de AD no solo.

Vale, Severino e Beltrão (2006) constataram na fase inicial de crescimento (30 dias após a emergência) que o diâmetro caulinar do pinhão manso foi afetado linearmente pela condutividade elétrica da água, com redução de 7,68% por unidade de CEa, efeito semelhante também foi observado na altura das plantas (7,85%).

No resumo da análise de variância (Tabela 10), o DC foi afetado pelos níveis de reposição da evapotranspiração, ao nível de 1% de probabilidade, em todas as avaliações efetuadas. Os contrastes foram realizados entre as plantas irrigadas com água residuária e as plantas do tratamento testemunha (não irrigada com água residuária e reposição de 100% da ETc), em todos os períodos.

Nas condições mais críticas dessa pesquisa, relacionada ao teor de umidade presente no solo, particularmente nos contrastes 0,25 e 0,50 de reposição da evapotranspiração *versus* o tratamento testemunha, a tendência de efeito dos tratamentos sobre o diâmetro das plantas se deu durante todo período, a partir dos 60 DAT. Para uma condição mais favorável de umidade do solo, no contraste entre 0,75 da ETc e o tratamento testemunha, o crescimento em diâmetro das plantas foi maior, uma vez que o nível de reposição da ETc aproximou-se de 100%. Pelos resultados listados na Tabela 10, os efeitos dos tratamentos foram evidentes apenas em três períodos, 60, 228 e 270 DAT.

Nas plantas que receberam 100% de suas necessidades hídricas (1,00 ETc), irrigadas com água residuária, comparadas às plantas do tratamento testemunha, verificaram-se tendências não significativas entre os tratamentos, considerando que, em ambas as condições, foi repostado todo o consumo hídrico pela planta, mudando apenas o tipo de água de irrigação. Somente nos períodos 60 e 396 dias após o transplântio, houve efeito significativo sobre o diâmetro caulinar, (Tabela 10). Finalmente, para o contraste entre 1,25 da ETc e o tratamento testemunha, condição de maior percentual de umidade no solo, o diâmetro das plantas do

Tabela 9. Resumo das análises de regressão do diâmetro caulinar do pinhão manso irrigado com água residuária em várias épocas de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		18 DAT	60 DAT	102 DAT	144 DAT	186 DAT	228 DAT	270 DAT	312 DAT	354 DAT	396 DAT
Nível de Reposição (Nr)	4	0,8874 <sup>ns</sup>	16,9582*	135,8542**	249,3781**	377,2689**	550,7132**	617,9787**	668,9407**	769,8962**	868,3057**
Regressão Linear	1	0,0010 <sup>ns</sup>	57,3602**	516,2422**	960,4000**	1487,7901**	2163,8410**	2428,9222**	2624,4000**	3017,1690**	3398,4922**
Regressão Quadrática	1	1,6802 <sup>ns</sup>	0,2716 <sup>ns</sup>	16,6116 <sup>ns</sup>	20,6429*	1,5611 <sup>ns</sup>	9,9457*	10,0302 <sup>ns</sup>	13,0179 <sup>ns</sup>	22,1257 <sup>ns</sup>	19,3287 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	1	1,4440 <sup>ns</sup>	10,2010 <sup>ns</sup>	9,1202 <sup>ns</sup>	8,3266 <sup>ns</sup>	13,9240*	23,4090**	27,3902*	32,4000 <sup>ns</sup>	35,5322 <sup>ns</sup>	50,8502 <sup>ns</sup>
Regressão 4º grau	1	0,4243 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	1,4429 <sup>ns</sup>	8,1431 <sup>ns</sup>	5,8003 <sup>ns</sup>	5,6573 <sup>ns</sup>	5,5723 <sup>ns</sup>	5,9451 <sup>ns</sup>	4,7580 <sup>ns</sup>	4,5517 <sup>ns</sup>
Blocos	3	3,5081**	1,4620 <sup>ns</sup>	1,8573 <sup>ns</sup>	4,7328 <sup>ns</sup>	3,0578 <sup>ns</sup>	3,5393 <sup>ns</sup>	9,5005 <sup>ns</sup>	10,7258 <sup>ns</sup>	28,3720 <sup>ns</sup>	39,5640 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	0,4785	3,8182	5,9669	3,5345	1,7922	2,0906	4,6451	17,9087	16,1716	17,7611
CV(%)		6,45	7,67	6,25	3,94	2,56	2,56	3,51	6,35	5,79	5,77

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 10. Resumo das análises de variância e médias do diâmetro caulinar do pinhão manso irrigado com água residuária em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		18 DAT	60 DAT	102 DAT	144 DAT	186 DAT	228 DAT	270 DAT	312 DAT	354 DAT	396 DAT
Tratamentos	5	0,8419 <sup>ns</sup>	25,8074**	121,5607**	207,7862**	308,3151**	448,2094**	509,8713**	540,7496**	618,7529**	694,8537**
Blocos	3	2,4050 <sup>ns</sup>	2,4396 <sup>ns</sup>	1,6696 <sup>ns</sup>	9,4536 <sup>ns</sup>	8,9801*	7,1182 <sup>ns</sup>	5,7687 <sup>ns</sup>	6,2212 <sup>ns</sup>	18,6034 <sup>ns</sup>	26,2964 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,9219	3,4406	5,2946	3,3275	2,7318	2,9692	5,0614	15,7390	15,3751	17,3214
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	0,2278 <sup>ns</sup>	107,3112**	341,9112**	439,5612**	518,4200**	639,0312**	819,7200**	713,4753**	721,0503**	626,5800**
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	0,0153 <sup>ns</sup>	38,7200**	91,8012**	115,1403**	142,8050**	208,0800**	285,3660**	210,6378**	200,5003**	112,5000*
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	2,1012 <sup>ns</sup>	34,4450**	16,5312 <sup>ns</sup>	3,3153 <sup>ns</sup>	7,4112 <sup>ns</sup>	22,7812*	46,4648**	17,8503 <sup>ns</sup>	12,8778 <sup>ns</sup>	0,0450 <sup>ns</sup>
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	1,4028 <sup>ns</sup>	32,4012**	4,5000 <sup>ns</sup>	0,3003 <sup>ns</sup>	3,8503 <sup>ns</sup>	4,2050 <sup>ns</sup>	0,2178 <sup>ns</sup>	10,9278 <sup>ns</sup>	25,7403 <sup>ns</sup>	82,5612*
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	0,0078 <sup>ns</sup>	4,6512 <sup>ns</sup>	10,1250 <sup>ns</sup>	64,6953 <sup>ns</sup>	179,5512**	341,9112**	316,5128**	468,9453**	622,1628**	918,0612**
CV(%)		8,90	7,08	5,78	3,77	3,13	3,02	3,62	5,91	5,61	5,70
Tratamentos		Médias (mm)									
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		10,8250	22,4500	30,4000	36,4625	39,2375	42,0000	45,9500	50,6750	52,5750	54,8000
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		11,0750	25,3750	36,7000	43,7000	46,8875	49,6750	54,2500	59,3000	61,5500	65,0000
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		10,1375	25,6250	40,6000	50,0000	53,4125	56,5000	61,3750	66,5750	69,0250	72,6500
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		10,3250	25,7500	41,9750	51,6750	56,7250	61,3250	66,5250	71,9000	75,1500	78,9250
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		11,2250	28,2500	45,7250	56,9750	64,8125	72,9500	78,7750	84,8750	89,2000	93,9250
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		11,1625	29,7750	43,4750	51,2875	55,3375	59,8750	66,1950	69,5625	71,5625	72,5000

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

### 5.1.3. Número de Folhas (NF)

Observa-se na análise de regressão para o número de folhas Tabela 11 que os níveis de reposição da ETc ocasionaram efeitos significativos nessa variável dos 60 DAT até o final das observações, diferindo estatisticamente ao nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F, aos 60 DAT e nos demais períodos ao nível de 0,01 de probabilidade.

O teor de umidade do solo influenciou de forma linear e crescente a variável de crescimento número de folhas das plantas de pinhão manso, Figura 11. Durante toda a fase experimental foram observados nas plantas sintomas de sensibilidade ao estresse hídrico, caracterizando-se por plantas com baixo número de folhas e folhas pequenas. A partir dessas constatações, determinou-se o aumento do número de folhas das plantas de 1,12, 1,18, 1,03, 1,41, 2,93, 3,99, 5,70, 12,25 e 32,7%, por cada centésimo de incremento da evapotranspiração, respectivamente para os períodos de 60, 102, 144, 186, 228, 270, 312, 354 e 396 DAT. Aos 354 e 396 DAT, o aumento do NF com o incremento da umidade do solo foi bastante representativo, para 12,25% de aumento. Isso significa que a planta formou aproximadamente 14 novas folhas; já para 32,7%, as plantas formaram 16 novas folhas. Comparado aos resultados encontrados para a altura de plantas e para o diâmetro caulinar, o número de folhas, portanto, foi mais afetado, evidenciando que o impacto negativo do estresse hídrico sobre a altura e o diâmetro do caule foi diminuindo com a fenologia da planta.

Elevados teores de sais no solo e na água podem levar as plantas às condições de estresse hídrico. Vale, Severino e Beltrão (2006) observaram que o crescimento inicial do pinhão manso (30 dias após a emergência), sob condições controladas, ocasionou redução de 40% no número de folhas (de 10,0 para 6,0) correspondendo a cerca de 9,66% por unidade de CEa, sendo mais afetada que a altura (7,85%) e que o diâmetro caulinar (7,68%). Os autores concluíram que o pinhão manso é uma espécie sensível à salinidade da água de irrigação.

Silva (2004), em estudos com cultivares de mamoneira aos 60 DAS, e Correia (2005) aos 105 DAS, com cultivares de amendoim, verificaram redução linear do número de folhas, com decréscimo na ordem de 8,0% por incremento unitário da salinidade da água de irrigação. Nery (2008) verificou decréscimo no número de folhas do pinhão manso ao 163 DAS de 9,75%, por incremento unitário da salinidade da água.

Quando se analisa as plantas cultivadas sob situação severa de estresse hídrico (0,25 de reposição da ETc), com aquelas sob condições favoráveis de umidade do solo (reposição de 1,25 da ETc) durante toda a fase experimental, o comportamento das plantas define que o



pinhão manso tanto apresenta sensibilidade ao estresse hídrico no crescimento em altura e diâmetro caulinar, discutido nos itens anteriores, como também ao número de folhas.

Conforme Taiz e Zeiger (2004), a expansão ou alongamento celular, é um processo que depende do turgor, portanto, é extremamente sensível à disponibilidade de água no solo para as plantas; assim, a restrição hídrica limita não só o tamanho, mas também o número de folhas. Ainda segundo esses autores, as folhas desenvolvem uma cutícula mais grossa para reduzir a perda de água por transpiração. Estas medidas aumentam a eficiência de uso de água pela planta.

Apesar da característica de senescência que possui a cultura do pinhão manso, uma espécie caducifólia, a variação média do número de folhas dos tratamentos com água residuária foi de 88 para 1251 folhas entre os períodos 60 e 396 DAT, Tabela 12. Esse aumento pode estar relacionado principalmente com a contribuição de nutrientes existente na água residuária, que favoreceu a uma melhor nutrição das plantas no decorrer da pesquisa.

Pelo resumo da análise de variância para o número de folhas Tabela 12, em que se contrasta as plantas dos níveis de reposição da E<sub>Tc</sub> (irrigação com água residuária) com as plantas irrigadas sem água residuária (testemunha), verifica-se efeito significativo dos tratamentos aos 60 DAT ao nível de 0,05 de probabilidade e, nos períodos seguintes, ao nível de 0,01 de probabilidade. Analisando-se o contraste entre as plantas do tratamento com 0,25 da E<sub>Tc</sub> *versus* as plantas do tratamento testemunha (Tabela 12), observa-se efeito significativo dos tratamentos sobre o NF apenas aos 60, 102 e 144 DAT, a partir dessa fase mesmo em condições de estresse hídrico (0,25 E<sub>Tc</sub>), a variável número de folhas foi semelhante às plantas do tratamento testemunha. Nos demais contrastes (0,50, 0,75 1,00 e 1,25 da E<sub>Tc</sub>) *versus* o tratamento testemunha, só houve influência significativa dos tratamentos sobre o NF após 186 DAT (Tabela 12).

Os cinco níveis de reposição da evapotranspiração ocasionaram alterações significativas no número de folhas das plantas do pinhão durante todos os períodos observados, ao nível de 0,01 de probabilidade, com melhor modelo de ajuste dos dados através da equação cúbica, em todos os tratamentos, (Figura 12). Foi crescente a formação de novas folhas nas plantas ao longo do tempo, de maneira mais intensiva nos tratamentos sem condições de estresse hídrico, até 396 dias após o transplante, observando-se, nessa data, um maior número de folhas nas plantas.

Pode-se observar na Figura 12 que do início das avaliações até 102 DAT o número de folhas das plantas, nos cinco tratamentos, foram aproximados, destacando-se a partir dessa

avaliação uma diferença marcante entre os tratamentos. No final das avaliações (396 DAT), foi constatado nas plantas do tratamento com 0,25 da ETc, um número médio de folhas de 528, comparados a 1481 e 2232 folhas contidas nas plantas dos tratamentos com reposição de 1,00 e 1,25 da ETc, respectivamente. Com tais informações, constata-se a variação ocorrida ao longo do ciclo da cultura, em função da irrigação com água residuária, sob diferentes níveis de reposição da ETc.

Tabela 11. Resumo das análises de regressão do número de folhas do pinhão manso irrigado com água residuária aos 18, 60, 102, 144, 186, 228, 270, 312, 354 e 396 DAT.

Fonte de variação	Quadrados Médios									
	18 DAT	60 DAT	102 DAT	144 DAT	186 DAT	228 DAT	270 DAT	312 DAT	354 DAT	396 DAT
Nível de rep. (Nr)	0.6062 <sup>ns</sup>	2012.8625*	12526.8000**	23667.8312**	61910.7062**	279882.0187**	511453.0187**	858207.7812**	1220250.3250**	1687890.1687**
Regr. Linear	0.2250 <sup>ns</sup>	7263.0250**	44156.0250**	79165.5062**	231420.1562**	1024640.1000**	2012195.3062**	3254417.2562**	4834768.5562**	6421618.2250**
Regr. Quadr.	1.7857 <sup>ns</sup>	651.4464 <sup>ns</sup>	1152.0714 <sup>ns</sup>	14999.5045*	5082.5402 <sup>ns</sup>	5187.8750 <sup>ns</sup>	3936.2545 <sup>ns</sup>	1221.1116 <sup>ns</sup>	6332.5045 <sup>ns</sup>	227715.0178**
Regr. Cúbica	0.3062 <sup>ns</sup>	6.0062 <sup>ns</sup>	4040.1000 <sup>ns</sup>	351.0562 <sup>ns</sup>	11138.9062 <sup>ns</sup>	89633.5562**	26240.0062 <sup>ns</sup>	168805.0562**	22896.2250	101606.4000*
Regr. 4º grau	0.1080 <sup>ns</sup>	130.9723 <sup>ns</sup>	759.0036 <sup>ns</sup>	155.2580 <sup>ns</sup>	1.2223 <sup>ns</sup>	66.5437 <sup>ns</sup>	3440.5080 <sup>ns</sup>	8387.7009 <sup>ns</sup>	17004.0143	621.0321 <sup>ns</sup>
Blocos	10.3667*	257.8167 <sup>ns</sup>	1375.1125 <sup>ns</sup>	4161.3000 <sup>ns</sup>	8118.6792*	11806.4792 <sup>ns</sup>	48707.1792*	27619.2125 <sup>ns</sup>	32426.3792 <sup>ns</sup>	9181.0458 <sup>ns</sup>
Resíduo	2.0646	594.4625	1920.0917	2997.6646	2278.2729	7282.0521	13762.8354	10573.3896	21942.2750	16549.4520
CV(%)	21.77	27.57	20.63	17.85	10.75	12.21	13.07	9.74	12.81	10.28

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 12. Resumo das análises de variância e médias do número de folhas do pinhão manso irrigado sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração e em diversos períodos de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios									
		18 DAT	60 DAT	102 DAT	144 DAT	186 DAT	228 DAT	270 DAT	312 DAT	354 DAT	396 DAT
Tratamentos	5	3.2187 <sup>ns</sup>	1878.2917*	10300.2417**	19179.3854**	61868.3000**	280913.8687**	600907.5417**	950431.7354**	1407439.1104**	1943899.4417**
Blocos	3	6.5104 <sup>ns</sup>	221.6250 <sup>ns</sup>	1014.5278 <sup>ns</sup>	3525.0104 <sup>ns</sup>	5923.3056 <sup>ns</sup>	11701.6215 <sup>ns</sup>	43371.8472 <sup>ns</sup>	25394.0659 <sup>ns</sup>	32665.8715 <sup>ns</sup>	7668.9306 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	3.0687	524.7750	1725.7028	2528.8021	2476.3722	6500.9299	12224.8806	9042.4909	18253.1715	13668.2639
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	6.1250 <sup>ns</sup>	5565.1250**	21788.2812**	21945.1250**	5356.1250 <sup>ns</sup>	6328.1250 <sup>ns</sup>	11362.7812 <sup>ns</sup>	144.5000 <sup>ns</sup>	19404.5000 <sup>ns</sup>	97571.5312 <sup>ns</sup>
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	11.2812 <sup>ns</sup>	2261.2812 <sup>ns</sup>	2538.2812 <sup>ns</sup>	72.0000 <sup>ns</sup>	21063.7812*	96250.7812**	272137.5312**	400065.1250**	551250.0000**	658952.0000**
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	12.5000 <sup>ns</sup>	166.5312 <sup>ns</sup>	4.5000 <sup>ns</sup>	6356.2812 <sup>ns</sup>	48360.5000**	146070.1250**	497004.5000**	851838.7812**	1084128.1250**	1361250.0000**
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	7.0312 <sup>ns</sup>	52.5312 <sup>ns</sup>	175.7812 <sup>ns</sup>	10117.5312 <sup>ns</sup>	70688.0000**	245175.0312**	1022450.0000**	1148749.0312**	2529562.7812**	2755378.1250**
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	5.2812 <sup>ns</sup>	0.2812 <sup>ns</sup>	4728.7812 <sup>ns</sup>	12521.5312 <sup>ns</sup>	163449.0312**	921063.7812**	2096128.1250**	3273600.7812**	4724738.0000**	7406438.2812**
CV(%)	-	25,25	24,96	19,25	16,56	11,81	12,41	13,67	10,00	13,21	10,69
Tratamentos		Médias									
Nr <sub>1</sub> (0.25 ETc)		6,8750	55,7500	128,5000	182,8750	256,3750	350,0000	437,0000	435,2500	450,7500	528,5000
Nr <sub>2</sub> (0.50 ETc)		6,2500	74,8750	197,2500	281,6250	410,7500	625,6250	730,5000	874,0000	877,2500	881,6250
Nr <sub>3</sub> (0.75 ETc)		6,1250	99,3750	231,3750	344,0000	463,6250	676,5000	860,1250	1079,3750	1088,5000	1132,6250
Nr <sub>4</sub> (1.00 ETc)		6,7500	103,3750	223,5000	358,7500	496,1250	756,3750	1076,6250	1184,6250	1476,8750	1481,3750
Nr <sub>5</sub> (1.25 ETc)		7,0000	108,8750	281,5000	366,7500	594,0000	1084,8750	1385,3750	1706,1250	1889,2500	2232,0000
Test. (0.60 dS m <sup>-1</sup> )		8,6250	108,5000	232,8750	287,6250	308,1250	406,2500	361,6250	426,7500	352,2500	307,6250

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

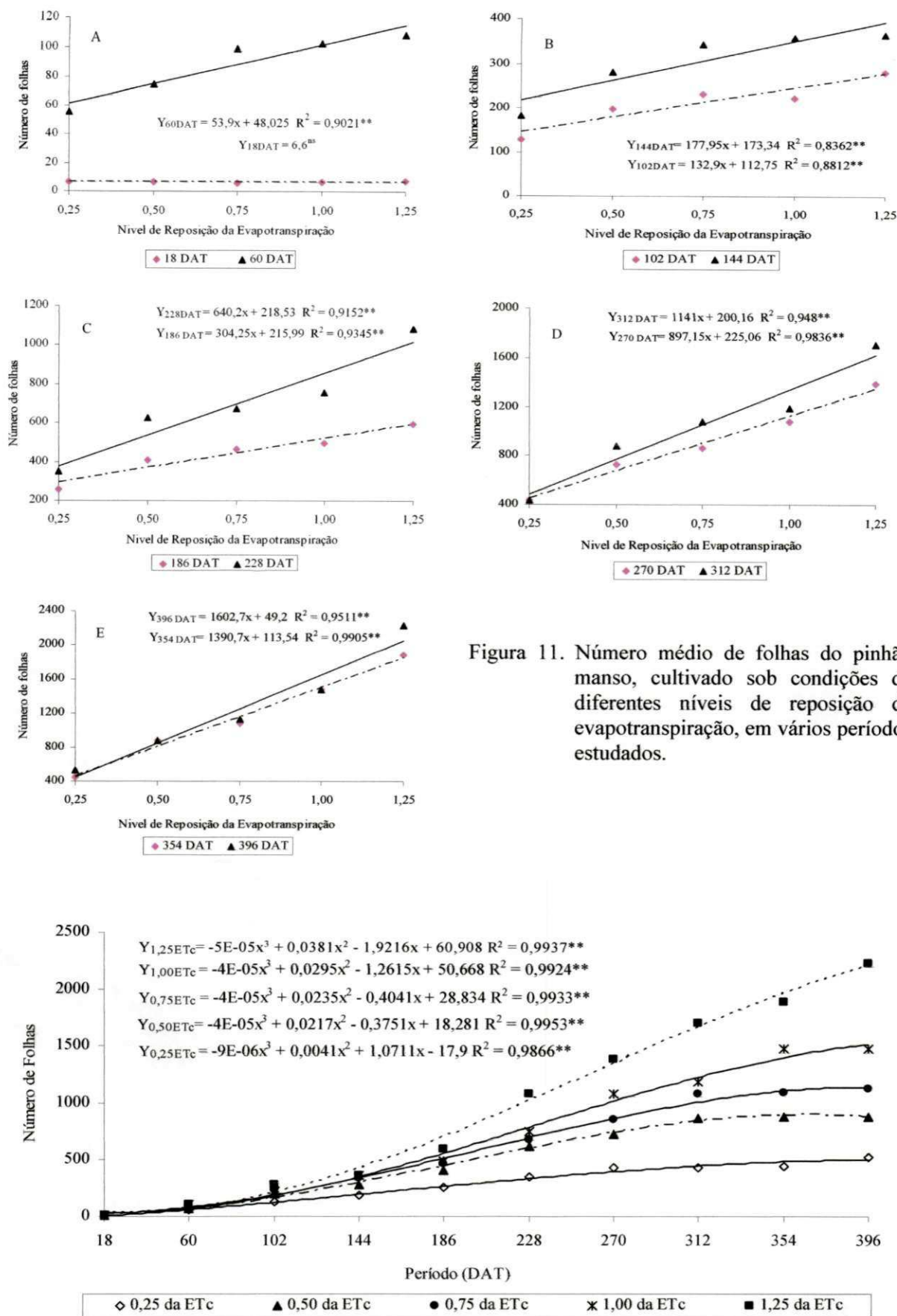


Figura 11. Número médio de folhas do pinhão manso, cultivado sob condições de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, em vários períodos estudados.

Figura 12. Curvas de evolução do número de folhas do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.

#### 5.1.4. Área Foliar (AF)

A determinação da área foliar de plantas é uma importante ação que permite ao pesquisador obter indicativo de resposta de tratamentos aplicados e lidar com uma variável que se relaciona mais diretamente com a capacidade fotossintética e de interceptação da luz.

Assim como foi observado para o crescimento das plantas em altura, diâmetro caulinar e número de folhas, os níveis de reposição da evapotranspiração exerceram efeito significativo sobre a área foliar das plantas ( $p < 0,01$ ), em todas as épocas de avaliação (Tabela 13). O incremento dos níveis de reposição da evapotranspiração contribuiu, linearmente, para o aumento da área foliar das plantas, conforme os estudos de regressão listados na Tabela 13.

Para cada período estudado foi determinado a partir das equações de regressão, apresentadas na Figura 13, o aumento na área foliar das plantas, por cada centésimo de incremento da evapotranspiração, esse acréscimo foi em torno de 0,008, 0,023, 0,027, 0,047, 0,065, 0,086, 0,102, 0,130 e 0,142 m<sup>2</sup>, respectivamente, aos 60, 102, 144, 186, 228, 312, 354 e 396 dias após o transplantio.

Verifica-se, pelos resultados desta pesquisa, que o aumento da umidade do solo ocasionou aos 396 DAT, aumento na AF entre os tratamentos N<sub>1</sub> e N<sub>5</sub>, de 2,97 para 17,95 m<sup>2</sup> na área foliar, Tabela 14 e Figura 13 E. Através destas informações observa-se que dentre as variáveis de crescimento estudadas na presente pesquisa, a área foliar foi a mais sensível ao estresse hídrico. Barros Júnior (2007) também verificou que, quanto menor o conteúdo de água no solo mais precocemente surgem reduções na área foliar da mamoneira.

Taiz e Zeiger (2004) relatam que plantas submetidas a déficit hídrico desenvolvem folhas menores e mais espessas com objetivo de minimizar a perda de água por transpiração.

Para Bergamaschi (1999), a baixa disponibilidade de água no solo pode provocar redução da área foliar, por secamento ou queda das folhas, uma tentativa da planta reduzir a perda de água por transpiração, aumentando a eficiência de uso da água, todavia, isto resulta em queda da fotossíntese total, que, por sua vez, reduz a taxa de crescimento e a produção da planta.

Analisando-se os dados da Tabela 14, observa-se efeito altamente significativo de 'Nr' sobre a área foliar ( $p < 0,01$ ), nas diversas épocas de estudo. No contraste entre as plantas do tratamento com 0,25 da ETC *versus* as plantas do tratamento testemunha, foi verificado efeito significativo dos tratamentos sobre a AF aos 60 e 144 DAT, ao nível de 1% de probabilidade; já nos períodos de 186, 228 e 396 DAT, verificou-se efeito significativo ao nível de 5% de

probabilidade, e, nas demais épocas de avaliação, não se constataram diferenças significativas entre os tratamentos.

Nos contrastes de 0,50 e 0,75 da ETc *versus* a testemunha, ocorreu efeito significativo dos tratamentos ( $p < 0,01$ ) a partir dos 186 dias após o transplante. Aos 60 DAT, o efeito foi significativo ( $p < 0,01$ ) no contraste de 0,50 da ETc e ( $p < 0,05$ ) no contraste com 0,75 da ETc. Nesses contrastes não foram verificadas diferenças significativas dos tratamentos nos períodos 102 e 144 DAT.

De acordo com os resultados dos tratamentos sob condições de estresse hídrico, houve uma redução na área foliar em função do baixo nível de umidade do solo. A redução da AF decorre da diminuição do volume das células e, de acordo com Lauchli e Epstein (1990), Araújo (1994) e Souza (1995), reduz a atividade fotossintética que, de certo modo, contribui para adaptação das culturas.

Xavier (2007), em pesquisa com a cultivar mamona BRS Nordestina com águas residuárias tratadas de três indústrias de Campina Grande-PB, observou que a área foliar apresenta tendência de decréscimo após os 90 DAS. À semelhança das variáveis altura de planta e diâmetro caulinar, o uso do efluente industrial mais rico e equilibrado em nutrientes resultou em maior crescimento em área foliar, notadamente quando as plantas foram irrigadas com os níveis de 80 e 100% de água disponível. Nas plantas da testemunha absoluta (água de abastecimento sem adubação), o autor verificou decréscimo acentuado na área foliar, da ordem de 90 %.

Nas plantas do tratamento com 100% de água disponível – AD (1,25 da ETc) *versus* as plantas do tratamento testemunha, percebe-se tendência de efeito ( $p < 0,01$ ) a partir dos 144 DAT, (Tabela 14). Apesar de as condições de suprimento hídrico entre os tratamentos serem semelhantes (100% AD), há um diferencial que é a qualidade da água de irrigação, e esse fator contribuiu para o maior crescimento das plantas, comportamento esse notório também na variável número de folhas.

As plantas cultivadas com 1,25 de reposição da ETc, em contraste com as plantas do tratamento testemunha, desenvolveram uma maior área foliar a partir de 102 DAT. A área foliar média, a partir desse período, foi 10,23 m<sup>2</sup> (1,25 da ETc) em relação a 2,02 m<sup>2</sup> do tratamento testemunha. Essa diferença na área foliar está associada tanto ao teor de umidade do solo, quanto aos nutrientes presentes na água residuária. Lacerda (2006) verificou na cultivar BRS Nordestina, aos 120 DAS, incremento de 37,60% na 'AF' entre as plantas do tratamento 70% AD e plantas adequadamente irrigadas (100% AD).



Na área foliar das plantas de pinhão, em função dos dias após o transplantio (DAT) Figura 14, observa-se que o melhor modelo de ajuste dos dados foi a equação cúbica, fato também observado para o número de folhas (Figura 12). A partir dos 120 DAT, a formação de novas folhas entre os tratamentos ocorreu de forma bastante diferenciada, determinando-se em média nas dez avaliações, no tratamento com reposição de 0,25 da ETc uma área foliar de 1,67 m<sup>2</sup>, enquanto para as plantas dos tratamentos com 1,00 e 1,25 da ETc, obtiveram-se valores de 5,80 e 8,11 m<sup>2</sup> de área foliar, respectivamente. Aos 354 DAT, nos tratamentos sob condições de estresse hídrico, ocorreram tendências de diminuição na área foliar das plantas, podendo esse fator estar relacionado ao processo de senescência foliar (Figura 14). Para Taiz e Zeiger (2004), o aumento excessivo da área foliar pode prejudicar o desenvolvimento e a produção da planta, passando a atuar como o seu principal dreno.

Tabela 13. Resumos das análises de regressão para a área foliar do pinhão manso irrigado com água residuária, sob diversos condições de umidade do solo e diferentes períodos de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		18 DAT	60 DAT	102 DAT	144 DAT	186 DAT	228 DAT	270 DAT	312 DAT	354 DAT	396 DAT
Nível de rep. (Nr)	4	0,000150**	0,393614**	3,419299**	4,484456 **	13,693040**	26,507488**	46,772027**	68,179680**	116,581105**	99,590000**
Regr. Linear	1	0,000078 <sup>ns</sup>	1,468844**	12,820240**	17,640754**	54,379675**	104,967252**	182,964502**	258,673960**	423,280360**	386,884000**
Regr. Quadr.	1	0,000474**	0,000550 <sup>ns</sup>	0,093163 <sup>ns</sup>	0,213519 <sup>ns</sup>	0,196248 <sup>ns</sup>	0,226022 <sup>ns</sup>	0,521776 <sup>ns</sup>	0,148114 <sup>ns</sup>	35,712114**	10,457857 <sup>ns</sup>
Regr. cúbica	1	0,000004 <sup>ns</sup>	0,037896 <sup>ns</sup>	0,745672 <sup>ns</sup>	0,061356 <sup>ns</sup>	0,086230 <sup>ns</sup>	0,593142 <sup>ns</sup>	3,258754 <sup>ns</sup>	13,642240**	5,119402 <sup>ns</sup>	0,961000 <sup>ns</sup>
Regr. 4º grau	1	0,000046 <sup>ns</sup>	0,067165 <sup>ns</sup>	0,018122 <sup>ns</sup>	0,022197 <sup>ns</sup>	0,110009 <sup>ns</sup>	0,243534 <sup>ns</sup>	0,343077 <sup>ns</sup>	0,254406 <sup>ns</sup>	2,212543 <sup>ns</sup>	0,057143 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,000491**	0,044036 <sup>ns</sup>	0,121149 <sup>ns</sup>	0,241952 <sup>ns</sup>	0,700452 <sup>ns</sup>	0,675164 <sup>ns</sup>	3,140335 <sup>ns</sup>	1,963547 <sup>ns</sup>	1,733205 <sup>ns</sup>	13,024500 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	0,000028	0,038733	0,161826	0,221599	0,214963	0,423259	0,959579	0,737880	1,266538	5,103667
CV(%)		9,74	29,89	22,21	18,40	11,57	12,13	14,17	9,57	14,15	26,66

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 14. Resumos das análises de variância e médias para a área foliar do pinhão manso cultivado sob diferentes condições de umidade do solo, em vários períodos de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios									
		18 DAT	60 DAT	102 DAT	144 DAT	186 DAT	228 DAT	270 DAT	312 DAT	354 DAT	396 DAT
Tratamentos	5	0,000237 <sup>ns</sup>	0,356077**	2,764353**	3,683718**	13,499061**	25,624055**	53,062321**	84,765617**	121,631196**	147,149208**
Blocos	3	0,0003 <sup>ns</sup>	0,0363 <sup>ns</sup>	0,0965 <sup>ns</sup>	0,2051 <sup>ns</sup>	0,6548 <sup>ns</sup>	0,6709 <sup>ns</sup>	2,7469 <sup>ns</sup>	1,7749 <sup>ns</sup>	1,6118 <sup>ns</sup>	0,4396 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,0001	0,0355	0,1432	0,1848	0,1999	0,3703	0,8512	0,6382	1,0355	0,8137
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	0,000203 <sup>ns</sup>	0,744810**	3,939765 <sup>ns</sup>	2,508688**	0,547581*	1,781800*	0,519130 <sup>ns</sup>	1,795512 <sup>ns</sup>	2,656513 <sup>ns</sup>	4,945512*
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	0,000685*	0,392365**	0,520047 <sup>ns</sup>	0,023599 <sup>ns</sup>	1,480920**	3,805627**	18,481680**	61,272450**	24,921800**	30,615313**
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	0,000549*	0,241860*	0,228623 <sup>ns</sup>	0,404730 <sup>ns</sup>	9,601181**	12,745443**	47,263503**	89,311612**	38,456450**	107,604450**
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	0,000576*	0,008052 <sup>ns</sup>	0,011613 <sup>ns</sup>	2,259513**	18,080790**	34,150154**	76,276071**	136,620450**	147,748050**	180,500000**
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	0,000030 <sup>ns</sup>	0,017936 <sup>ns</sup>	2,572252**	5,214674**	35,845044**	66,802929**	185,674158**	301,596800**	443,424200**	547,805000**
CV(%)	-	18,48	26,90	20,50	17,24	12,15	12,33	15,11	10,17	14,80	11,45
Tratamentos		Médias (m <sup>2</sup> )									
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		0,0572	0,2968	0,6158	1,0580	1,5293	1,8463	2,5765	3,1865	2,6031	2,9717
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		0,0487	0,4641	1,5094	2,0694	2,9130	4,1696	5,1069	7,7742	4,9810	5,3117
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		0,0507	0,5593	1,6813	2,6279	4,2435	5,3146	6,9283	8,9221	5,8318	8,7337
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		0,0503	0,9705	2,0956	3,2409	5,0592	6,9223	8,2426	10,5029	10,0427	10,9015
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		0,0634	1,0017	3,1534	3,7927	6,2860	8,5695	11,7022	14,5191	16,3420	17,9490
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		0,0672	0,9070	2,0194	2,1780	2,0525	2,7901	2,0670	2,2340	1,4477	1,3987

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.



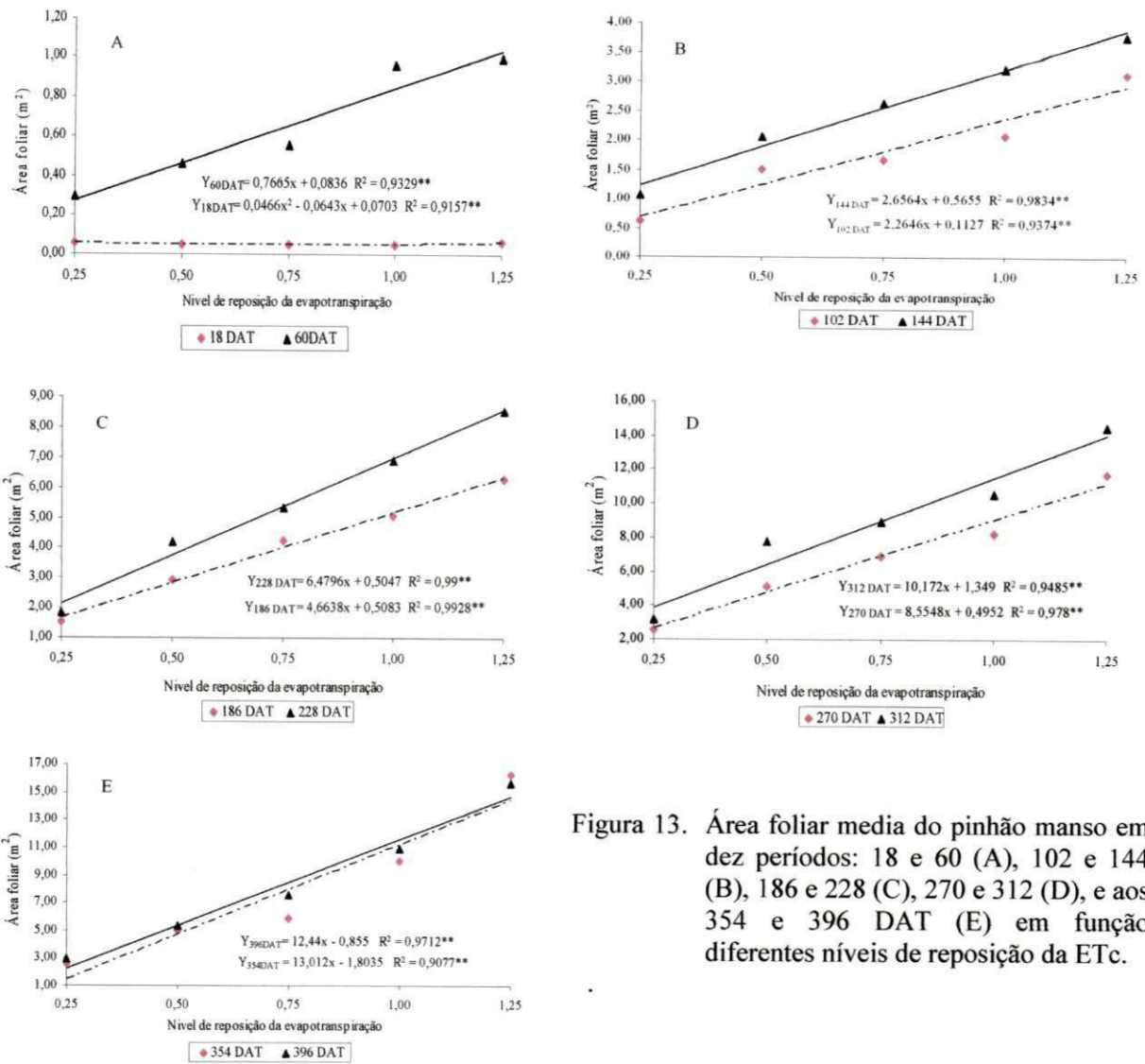


Figura 13. Área foliar média do pinhão manso em dez períodos: 18 e 60 (A), 102 e 144 (B), 186 e 228 (C), 270 e 312 (D), e aos 354 e 396 DAT (E) em função diferentes níveis de reposição da ETC.

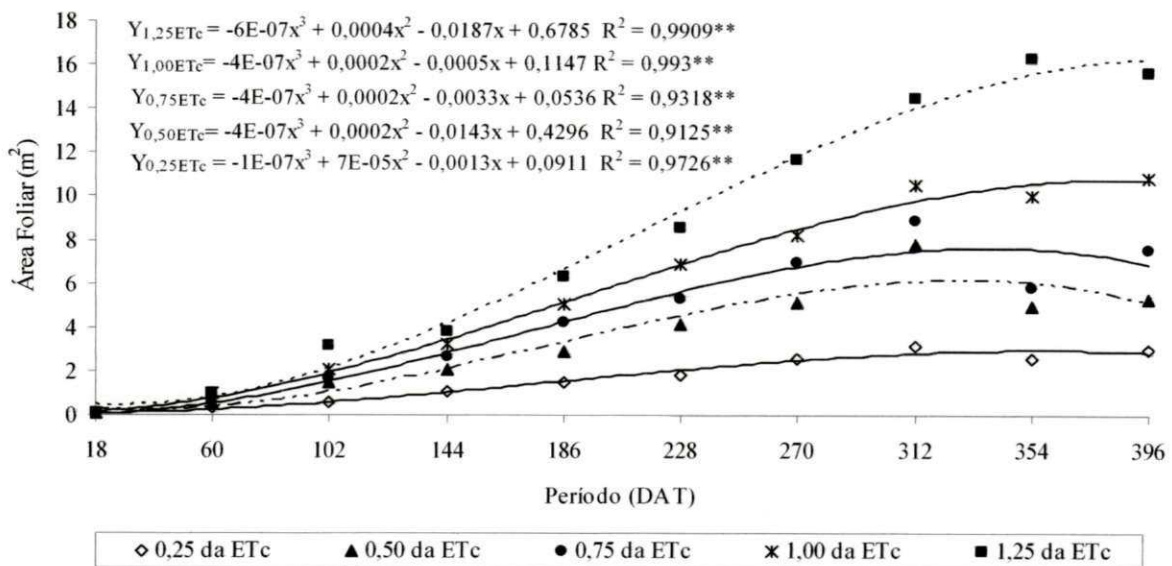


Figura 14. Curvas de evolução da área foliar do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.

## 5.2. Variáveis Fisiológicas

### 5.2.1. Taxas de Crescimento Absoluto em Altura de Plantas (TCA AP)

De acordo com Benincasa (2003), a análise de crescimento de plantas é um método que descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo entre duas amostras sucessivas, dentro do seu ciclo, com isso é possível avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos. A partir dos dados de crescimento pode-se inferir a atividade fisiológica, isto é, estimar as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes.

Na Tabela 15, observaram-se efeitos significativos dos níveis de reposição da evapotranspiração (Nr) na TCA AP, nos períodos 18-60, 186-228 e 270 -312 ao nível de 0,01 de probabilidade, pelo teste F. No período de 60-102 DAT as diferenças significativas observadas foram ao nível 0,05 de probabilidade, percebendo-se em todos os períodos efeito linear.

A taxa de crescimento absoluto em altura de plantas aumentou com os níveis de reposição da evapotranspiração. De acordo com os modelos lineares (Figura 15) para a TCA AP, houve aumento de 0,0054, 0,0047, 0,0025, 0,0047, 0,0033 e 0,0022 cm dia<sup>-1</sup> na taxa de crescimento das plantas, por cada centésimo de incremento da evapotranspiração, respectivamente, para os períodos de 18-60, 60-102, 102-144, 186-228, 270-312 e 354-396 dias após o transplantio.

Pela análise da Tabela 16, do resumo das análises de variância para a TCA AP, houve efeitos significativos dos tratamentos nos mesmos períodos de avaliação citados na Tabela 15.

No contraste entre 0,25 da ETc *versus* a testemunha ocorreu efeito significativo dos tratamentos ( $p < 0,01$ ) sobre a TCA AP, apenas no início do experimento (18-60 DAT), Tabela 16. No contraste entre 0,50 da ETc *versus* a testemunha foi verificado efeito significativo ( $p < 0,05$ ) aos 18-60 DAT e, só aos 270-312 e 312-354 DAT, novamente foram observadas diferenças significativas, sendo no primeiro período ao nível de 0,01 de probabilidade e, no segundo período, ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F. Contrastando as plantas do tratamento com 0,75 da ETc com a testemunha, foram verificadas diferenças significativas em três períodos, 60-102 DAT ( $p < 0,05$ ), 270-312 DAT ( $p < 0,01$ ) e aos 312-354 ( $p < 0,05$ ).

Nas plantas do tratamento com 100% de reposição da ETc irrigadas com água residuária em relação àquelas do tratamento testemunha, que também receberam 100% de

suas necessidades hídricas, portanto, não foram irrigadas com água residuária, observa-se que não houve efeito significativo dos tratamentos nos períodos 18-60, 228-270 e 354-396 DAT. Este comportamento pode ser explicado pela composição de nutrientes da água residuária que promoveu maior crescimento das plantas (Tabela 16). A TCA AP média das plantas do tratamento Nr<sub>4</sub> (1,00 da ETc) foi superior em todas as fases, por exemplo, no período que compreendeu 354-396 DAT, as plantas cresceram em média 0,34 cm dia<sup>-1</sup>, comparadas a 0,17 cm dia<sup>-1</sup> das plantas do tratamento testemunha. Barros Júnior (2007), utilizando água de abastecimento, encontrou as maiores taxas de crescimento absoluto em altura de plantas da mamona na primeira avaliação (20 a 40 DAS) com médias de 1,23 e 1,28 cm dia<sup>-1</sup> para as cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu, esta última com taxa significativamente maior; entretanto, no final do experimento (160 a 180 DAS).

Finalmente, nas condições de maior teor de umidade do solo estabelecida nesta pesquisa (1,25 da ETc) *versus* o tratamento testemunha, foram verificados, em todos os períodos, efeitos dos tratamentos, indicando que o pinhão manso, em condições favoráveis de umidade do solo e, sobretudo, irrigado com água residuária (rica em nutrientes), desenvolve maior taxa de crescimento absoluto em altura de plantas. Nesse tratamento (1,25 ETc), a TCA AP média das plantas foi superior aos demais tratamentos, inclusive, das plantas do tratamento Nr<sub>4</sub>, Tabela 16.

Pelos valores médios para a TCA AP, Tabela 16 e Figura 15, percebe-se que as taxas de crescimento das plantas, obtidas nos nove períodos, sofreram variação. A maior taxa de crescimento média, observada entre os tratamentos, foi de 60 a 102 dias após o transplante, observando-se nessa época, entre os tratamentos Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub>, uma TCA AP de 0,91 e 1,44 cm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Para Larcher (2000), paralisações no crescimento vegetativo em função da aceleração do crescimento produtivo, ocorrem pela canalização da energia, de nutrientes e assimilados destinados à floração e frutificação que, por sua vez, originam-se no processo fotossintético, na incorporação de substâncias minerais e na mobilização de reservas para formação e enchimento dos frutos.

Tabela 15. Resumos das análises de regressão para a variável taxa de crescimento absoluto em altura de plantas, em diversos períodos e em função de diferentes teores de umidade do solo.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios								
		18-60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144-186 DAT	186-228 DAT	228-270 DAT	270-312 DAT	312-354 DAT	354-396 DAT
<b>Nível de Reposição (Nr)</b>	<b>4</b>	0,208311**	0,151811*	0,044110 <sup>ns</sup>	0,021409 <sup>ns</sup>	0,158979**	0,014748 <sup>ns</sup>	0,093788**	0,046053 <sup>ns</sup>	0,036943 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	0,728676**	0,549973**	0,154791*	0,080793 <sup>ns</sup>	0,555592*	0,049337 <sup>ns</sup>	0,273853**	0,125227 <sup>ns</sup>	0,131974*
Regressão Quadrática	1	0,076206 <sup>ns</sup>	0,019594 <sup>ns</sup>	0,012057 <sup>ns</sup>	0,002127 <sup>ns</sup>	0,044095 <sup>ns</sup>	0,004899 <sup>ns</sup>	0,071436 <sup>ns</sup>	0,042775 <sup>ns</sup>	0,005126 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	1	0,027426 <sup>ns</sup>	0,036869 <sup>ns</sup>	0,002774 <sup>ns</sup>	0,000511 <sup>ns</sup>	0,004849 <sup>ns</sup>	0,004099 <sup>ns</sup>	0,025005 <sup>ns</sup>	0,014508 <sup>ns</sup>	0,010330 <sup>ns</sup>
Regressão 4º grau	1	0,000934 <sup>ns</sup>	0,000810 <sup>ns</sup>	0,006816 <sup>ns</sup>	0,002207 <sup>ns</sup>	0,031380 <sup>ns</sup>	0,000656 <sup>ns</sup>	0,004858 <sup>ns</sup>	0,001701 <sup>ns</sup>	0,000341 <sup>ns</sup>
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	0,012082 <sup>ns</sup>	0,016072 <sup>ns</sup>	0,050166 <sup>ns</sup>	0,003248 <sup>ns</sup>	0,016373 <sup>ns</sup>	0,013546 <sup>ns</sup>	0,031452 <sup>ns</sup>	0,031567 <sup>ns</sup>	0,006432 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>12</b>	0,035466	0,032309	0,024550	0,034199	0,067843	0,019588	0,015449	0,055278	0,014791
<b>CV(%)</b>		16,70	14,88	27,31	53,20	40,48	55,46	32,27	55,87	40,14

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 16. Resumos das análises de variância e médias para a variável taxa de crescimento absoluto em altura de plantas do pinhão manso nos períodos de em nove períodos (18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 DAT).

Fonte de variação	GL	Quadrados médios								
		18-60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144-186 DAT	186-228 DAT	228-270 DAT	270-312 DAT	312-354 DAT	354-396 DAT
<b>Tratamentos</b>	<b>5</b>	0,223470**	0,162133**	0,056404 <sup>ns</sup>	0,057618 <sup>ns</sup>	0,253400*	0,026445 <sup>ns</sup>	0,111327**	0,106229 <sup>ns</sup>	0,040884*
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	0,006464 <sup>ns</sup>	0,027185 <sup>ns</sup>	0,054203 <sup>ns</sup>	0,000984 <sup>ns</sup>	0,023171 <sup>ns</sup>	0,010397 <sup>ns</sup>	0,036042 <sup>ns</sup>	0,035705 <sup>ns</sup>	0,006479 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>15</b>	0,032986	0,029715	0,022203	0,030732	0,056062	0,016515	0,012640	0,044668	0,013004
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	0,880929**	0,005735 <sup>ns</sup>	0,014895 <sup>ns</sup>	0,057562 <sup>ns</sup>	0,131021 <sup>ns</sup>	0,004536 <sup>ns</sup>	0,002145 <sup>ns</sup>	0,035872 <sup>ns</sup>	0,000867 <sup>ns</sup>
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	0,218262*	0,081932 <sup>ns</sup>	0,021705 <sup>ns</sup>	0,079541 <sup>ns</sup>	0,191611 <sup>ns</sup>	0,044298 <sup>ns</sup>	0,127993**	0,234270*	0,028346 <sup>ns</sup>
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	0,104997 <sup>ns</sup>	0,173637*	0,028334 <sup>ns</sup>	0,094417 <sup>ns</sup>	0,199049 <sup>ns</sup>	0,049770 <sup>ns</sup>	0,156548**	0,263683*	0,040827 <sup>ns</sup>
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	0,054549 <sup>ns</sup>	0,199049*	0,137183*	0,184346*	0,694490**	0,063778 <sup>ns</sup>	0,202821**	0,285730*	0,057562 <sup>ns</sup>
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	0,010203 <sup>ns</sup>	0,453533**	0,202853**	0,234304**	0,995037**	0,086819*	0,242521**	0,313355*	0,116234**
<b>CV(%)</b>		15,44	14,77	27,38	57,19	41,47	56,45	32,47	57,58	40,54
<b>Tratamentos</b>		Médias (cm dia <sup>-1</sup> )								
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETe)		0,7559	0,9077	0,4821	0,2708	0,4643	0,1518	0,1190	0,2321	0,1518
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETe)		1,0893	1,1637	0,5000	0,3006	0,5179	0,2529	0,4048	0,4405	0,2917
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETe)		1,1905	1,2559	0,5148	0,3184	0,5238	0,2619	0,4316	0,4613	0,3155
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETe)		1,2545	1,2768	0,6577	0,4048	0,7976	0,2827	0,4702	0,4762	0,3423
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETe)		1,3482	1,4375	0,7143	0,4434	0,9137	0,3125	0,5000	0,4940	0,4137
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		1,4196	0,9613	0,3958	0,1012	0,2083	0,1041	0,1518	0,0982	0,1726

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

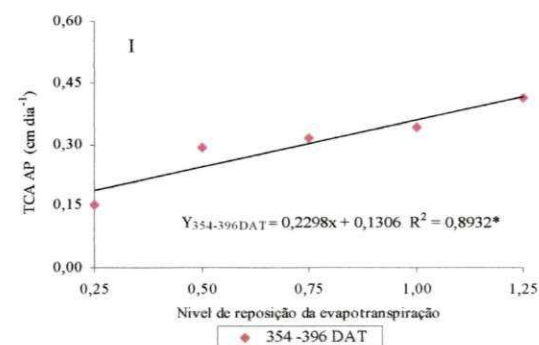
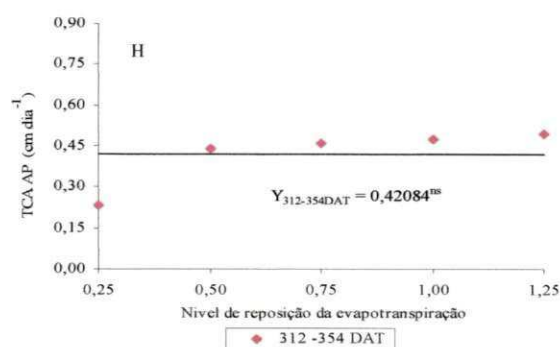
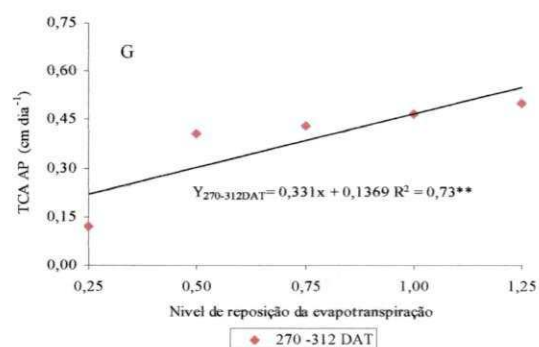
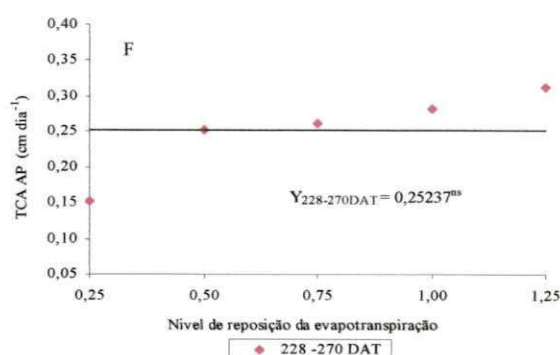
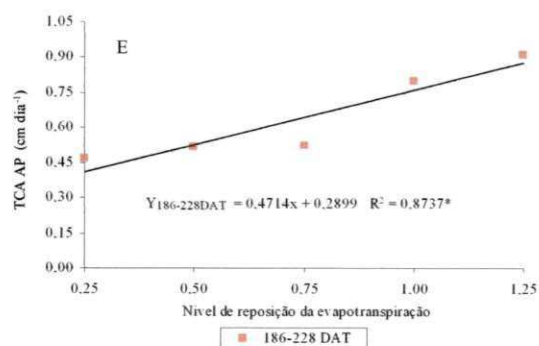
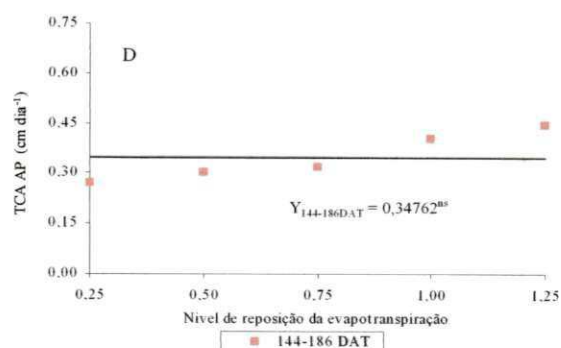
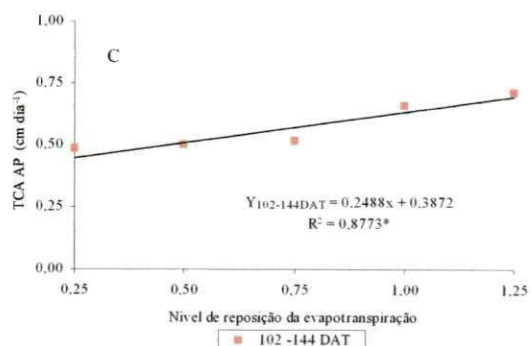
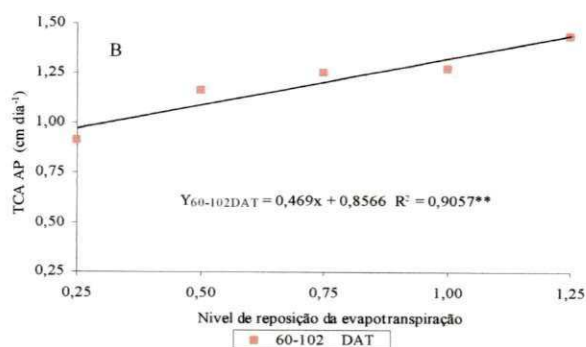
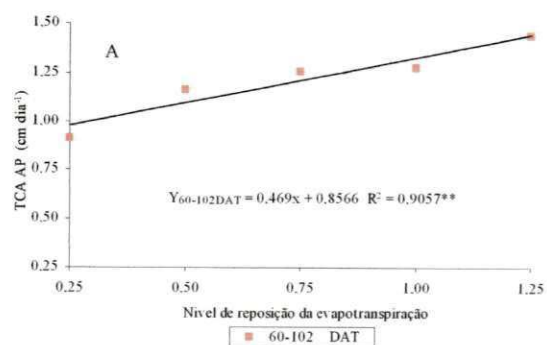


Figura 15. Taxa de crescimento absoluto em altura de plantas nos períodos 18-60 (A), 60-102 (B), 102-144 (C), 144-186 (D), 186-228 (E), 228-270 (F), 270-312 (G), 312-354 (H) e 354-396 (I) DAT, em função dos tratamentos.

### 5.2.2. Taxas de Crescimento Absoluto em Diâmetro Caulinar (TCA DC)

A variável fisiológica 'TCA DC' das plantas de pinhão manso foi influenciada significativamente ( $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) pelos níveis de reposição da evapotranspiração – 'Nr', em vários períodos, exceto aos 228-270, 270-312 e 354-396 DAT. Nos períodos em que ocorreu efeito significativo dos tratamentos, o efeito foi linear (Tabela 17). Rodrigues (2008) observou para a TCA DC da cultura da mamoneira efeito linear no período inicial de crescimento. Durante o período de 27-48 dias após a semeadura esse mesmo autor, determinou um acréscimo de 110% na TCA DC da mamoneira, entre as plantas irrigadas com 0,60 e 1,20 da evapotranspiração.

Com o aumento dos níveis de reposição da evapotranspiração, as plantas tiveram maiores taxas de crescimento absoluto em diâmetro caulinar, (Tabela 18). De acordo com os modelos lineares (Figura 16) para TCA DC, por cada centésimo de incremento da evapotranspiração, resultou em um aumento de 0,0011, 0,0023, 0,0012, 0,0011, 0,0012 e 0,0006  $\text{mm dia}^{-1}$  na taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar das plantas, respectivamente, para os períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 312-354 DAT; em termos percentuais esse acréscimo equivale a 0,41, 1,51, 1,09, 5,42, 10,91 e 2,44%, respectivamente.

Conforme os dados da Tabela 18, a maior taxa de crescimento entre os tratamentos foi observada até 60 DAT; o diâmetro caulinar nesse período alcançou em média 0,37  $\text{mm dia}^{-1}$ , decrescendo nos períodos posteriores, para 0,32  $\text{mm dia}^{-1}$  (60-102 DAT) a 0,07  $\text{mm dia}^{-1}$  (354-396 DAT). Nery (2008) também observou que a taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar do pinhão manso, sob condições de estresse salino, foi reduzida linearmente com o incremento da salinidade da água de irrigação, as plantas cresceram em média 0,425  $\text{mm dia}^{-1}$  durante o período de 37-58 DAS a 0,110  $\text{mm dia}^{-1}$  no período de 142-163 DAS.

No contraste entre as plantas do tratamento com 0,25 da ETc *versus* as plantas do tratamento testemunha foi observado efeito significativo dos tratamentos sobre a TCA DC da fase inicial de crescimento até o período de 102-144 DAT, com novas tendências aos 186-228 DAT ( $p < 0,05$ ). Nas plantas do tratamento com 0,50 da ETc *versus* a testemunha houve efeito dos 'Nr' até 102 DAT, voltando a ocorrer no período de 186-228 DAT ( $p < 0,05$ ). Nesses contrastes, a tendência de efeito dos tratamentos sobre a TCA DC das plantas se deu até 186 DAT, considerando-se que a partir desse período o crescimento em diâmetro das plantas

cultivadas sob limitação hídrica se aproximou do crescimento das plantas do tratamento testemunha.

Em relação ao contraste entre as plantas que receberam 0,75 da ETc com aquelas do tratamento testemunha, nota-se que a TCA DC das plantas foi influenciada significativamente ( $p < 0,05$ ) apenas no período de 102-144 DAT.

Para as plantas do tratamento com reposição de 100% da evapotranspiração *versus* a testemunha, verificaram-se tendências de efeitos sobre a TCA DC, apenas até 144 dias após o transplante. A partir desse período, mesmo nas plantas irrigadas com água residuária, a TCA DC se assemelhou à testemunha. Já para as plantas do tratamento com 1,25 de reposição da ETc *versus* a testemunha, foi constatado efeito de 'Nr' da evapotranspiração na maioria das etapas de avaliação, com exceção dos períodos 228-270 e 270-312 DAT. Nesse tratamento (1,25 da ETc), as plantas foram cultivadas em condições de elevados teores de umidade do solo, contudo, apresentaram maiores taxas de crescimento absoluto tanto em altura como em diâmetro caulinar. Esse aumento no crescimento das plantas, relaciona-se tanto ao fator nível de umidade do solo, como à qualidade da água de irrigação, que possui em sua composição nutrientes essenciais ao crescimento dos vegetais.

Tabela 17. Resumos das análises de regressão para a variável taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar de pinhão manso, sob condições de diferentes níveis de reposição da ETc, em diversos períodos de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios								
		18 -60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144 -186 DAT	186 -228 DAT	228 -270 DAT	270 -312 DAT	312 -354 DAT	354 -396 DAT
Nível de Reposição (Nr)	4	0,009198*	0,034474**	0,010083**	0,009816*	0,012324**	0,000963 <sup>ns</sup>	0,000586 <sup>ns</sup>	0,002356*	0,001873 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	0,032393**	0,130063**	0,038608**	0,032598**	0,036930**	0,003791 <sup>ns</sup>	0,002095 <sup>ns</sup>	0,008404**	0,006607 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	0,001899 <sup>ns</sup>	0,007000*	0,000139 <sup>ns</sup>	0,006147 <sup>ns</sup>	0,011595**	0,000014 <sup>ns</sup>	0,000101 <sup>ns</sup>	0,000941 <sup>ns</sup>	0,000069 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	1	0,002271 <sup>ns</sup>	0,000017 <sup>ns</sup>	0,000011 <sup>ns</sup>	0,000404 <sup>ns</sup>	0,000772 <sup>ns</sup>	0,000046 <sup>ns</sup>	0,000144 <sup>ns</sup>	0,000060 <sup>ns</sup>	0,000808 <sup>ns</sup>
Regressão 4º grau	1	0,000230 <sup>ns</sup>	0,000817 <sup>ns</sup>	0,001575 <sup>ns</sup>	0,000112 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000004 <sup>ns</sup>	0,000019 <sup>ns</sup>	0,000006 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,000903 <sup>ns</sup>	0,000171 <sup>ns</sup>	0,004864**	0,000299 <sup>ns</sup>	0,001611 <sup>ns</sup>	0,003162 <sup>ns</sup>	0,006367 <sup>ns</sup>	0,002669*	0,001976 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	0,001710	0,001054	0,000625	0,002246	0,000722	0,001178	0,005090	0,000675	0,002639
CV(%)		11,76	10,05	12,06	44,71	26,29	29,83	56,59	38,16	60,49

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 18. Resumos das análises de variância e médias para a variável taxa de crescimento absoluto em DC de pinhão manso, em função de diferentes níveis de reposição da ETc, em vários períodos de observação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios								
		18 -60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144 -186 DAT	186 -228 DAT	228 -270 DAT	270 -312 DAT	312 -354 DAT	354 -396 DAT
Tratamentos	5	0,012941**	0,027586**	0,008369**	0,007913*	0,009882**	0,001605 <sup>ns</sup>	0,001870 <sup>ns</sup>	0,002164*	0,004113 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,000972 <sup>ns</sup>	0,000413 <sup>ns</sup>	0,006132 <sup>ns</sup>	0,000829 <sup>ns</sup>	0,001383 <sup>ns</sup>	0,003289 <sup>ns</sup>	0,004681 <sup>ns</sup>	0,002598 <sup>ns</sup>	0,001779 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,001649	0,001170	0,000549	0,002027	0,000638	0,001563	0,004439	0,000728	0,002162
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	0,055578**	0,037634**	0,003374*	0,001848 <sup>ns</sup>	0,003574*	0,006498 <sup>ns</sup>	0,002083 <sup>ns</sup>	0,000006 <sup>ns</sup>	0,001809 <sup>ns</sup>
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	0,021095**	0,006527*	0,000703 <sup>ns</sup>	0,000847 <sup>ns</sup>	0,003478*	0,003549 <sup>ns</sup>	0,003293 <sup>ns</sup>	0,000057 <sup>ns</sup>	0,007308 <sup>ns</sup>
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	0,011078*	0,001738 <sup>ns</sup>	0,002992*	0,000462 <sup>ns</sup>	0,002429 <sup>ns</sup>	0,002443 <sup>ns</sup>	0,003850 <sup>ns</sup>	0,000230 <sup>ns</sup>	0,008192 <sup>ns</sup>
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	0,011529*	0,007092*	0,004145*	0,001133 <sup>ns</sup>	0,000005 <sup>ns</sup>	0,001450 <sup>ns</sup>	0,004503 <sup>ns</sup>	0,001735 <sup>ns</sup>	0,009296 <sup>ns</sup>
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	0,002858 <sup>ns</sup>	0,016056**	0,013489**	0,016254*	0,015506**	0,000507 <sup>ns</sup>	0,008457 <sup>ns</sup>	0,006874**	0,016371*
CV(%)		11,07	10,57	11,50	43,12	24,48	32,68	56,26	41,70	62,42
Tratamentos		Médias (mm dia <sup>-1</sup> )								
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		0,2765	0,1890	0,1449	0,0660	0,0658	0,0934	0,1125	0,0458	0,0524
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		0,3405	0,2690	0,1673	0,0759	0,0663	0,1083	0,1208	0,0529	0,0827
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		0,3687	0,3556	0,2247	0,0812	0,0732	0,1155	0,1241	0,0583	0,0863
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		0,3672	0,3857	0,2315	0,1202	0,1095	0,1235	0,1277	0,0771	0,0905
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		0,4054	0,4158	0,2681	0,1866	0,1961	0,1345	0,1452	0,1062	0,1128
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		0,4432	0,3262	0,1860	0,0964	0,1080	0,1504	0,0802	0,0476	0,0223

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.



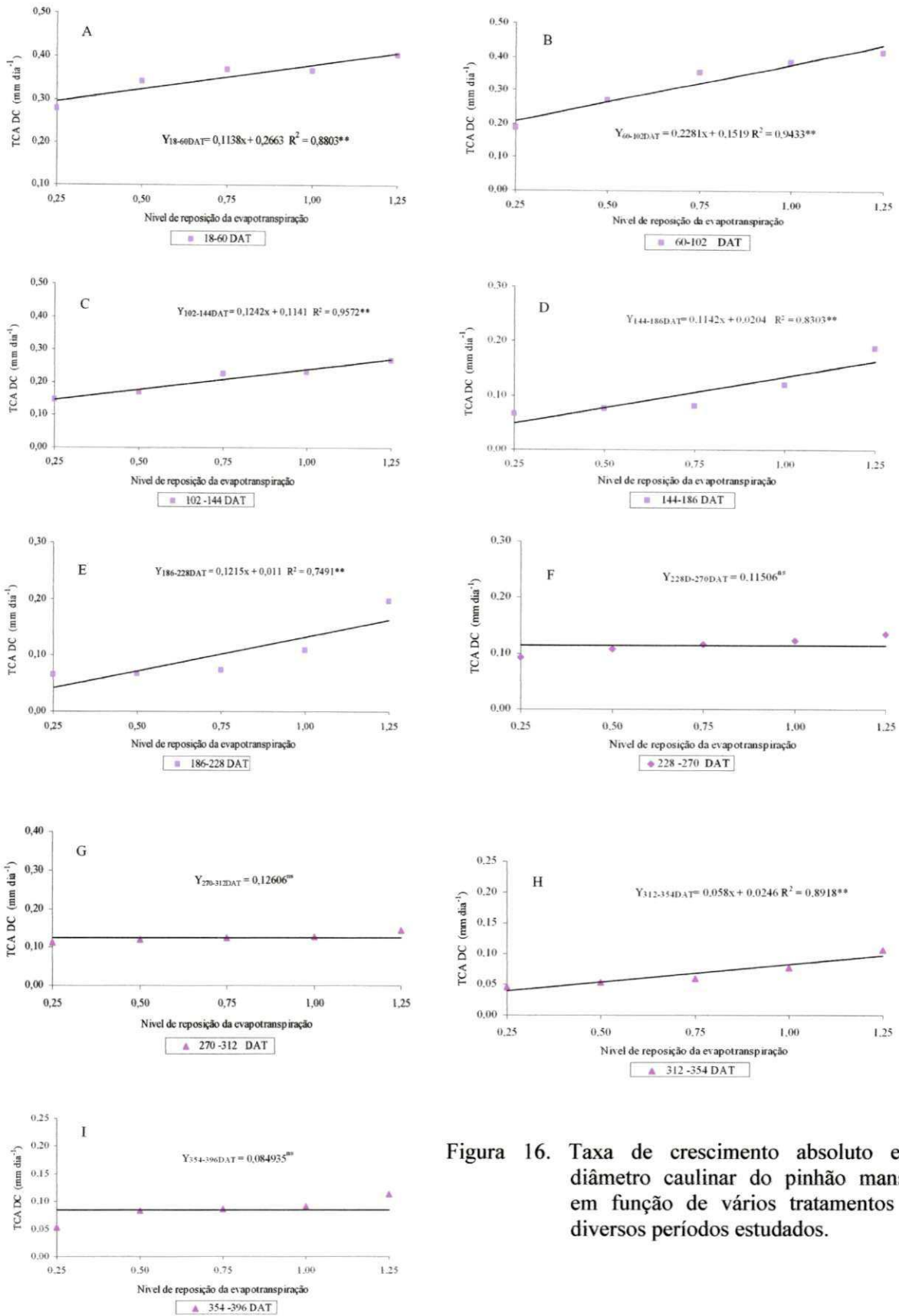


Figura 16. Taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar do pinhão manso em função de vários tratamentos e diversos períodos estudados.

### 5.2.3. Taxas de Crescimento Relativo em Altura de Plantas (TCR AP)

A taxa de crescimento das plantas é geneticamente controlada de maneira que, fatores que determinem diferentes taxas iniciais de crescimento terão efeito apenas durante a fase de crescimento exponencial das plantas, diminuindo de intensidade à medida que as plantas crescem (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000). Para Benincasa (2003), o crescimento relativo está relacionado à eficiência da planta em formar tecidos novos a partir dos preexistentes, sendo um indicativo de grande importância na avaliação de materiais genéticos sob diferentes condições de estresse.

Observa-se na análise de regressão para a TCR AP, Tabela 19, que os níveis de reposição da ETc influenciaram significativamente a taxa de crescimento nos períodos 18-60 e 270-312 DAT, diferindo estatisticamente ao nível de 0,01 de probabilidade no primeiro período e ao nível de 0,05 de probabilidade no segundo período, pelo teste F.

Na Figura 17, verificam-se os valores médios da TCR AP das plantas de pinhão manso em todos os períodos estudados. Observam-se diferenças significativas de 'Nr' apenas nas Figuras 17 A e 17 G, indicando que nesses períodos as plantas foram mais eficientes na formação de novos tecidos; o melhor modelo de ajuste dos dados foi o polinomial quadrático. Com base nas equações matemáticas contidas na Figura 17 A e G, calculou-se o acréscimo entre os tratamentos Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub> de 38,23 e 121,85%, respectivamente. Rodrigues (2008) determinou para a cultura da mamona acréscimos de 82,13 e 69,82 % sobre a TCR AP entre Nr<sub>1</sub> (0,60 ETc) e os níveis Nr<sub>4</sub> (1,05 ETc) e Nr<sub>5</sub> (1,20 ETc), respectivamente.

Na Tabela 20, pode ser verificado para o contraste entre 0,25 da ETc e o tratamento testemunha, que a tendência de efeito do tratamento sobre a TCR AP, ocorreu até o período de 60-102 DAT. Já para as plantas dos tratamentos com 0,50 e 0,75 da ETc *versus* o tratamento testemunha, foi observado tendência de efeito dos tratamentos no período de 60-102 DAT, com novas tendências entre 270 e 354 dias após o transplantio.

Nos tratamentos em que as plantas não foram submetidas a estresse hídrico (Nr<sub>4</sub> - 1,00 e Nr<sub>5</sub> - 1,25 da ETc) *versus* o tratamento testemunha, houve efeitos dos tratamentos na maioria das avaliações. Nas plantas irrigadas com 1,00 da ETc verificaram-se efeitos dos 'Nr' aos 60-102, 144-186, 186-228, 270-312 e 312-354 DAT, já no tratamento com 1,25 da ETc foi observado comportamento semelhante, exceto aos 312-354 DAT, em que não houve efeitos dos tratamentos, Tabela 20.

Constata-se na Tabela 20 que à semelhança da taxa de crescimento absoluto em altura de plantas, a taxa de crescimento relativo em altura de plantas também decresceu no decorrer do período, ou seja, com a idade das plantas variando em média, entre  $0,028 \text{ cm cm dia}^{-1}$ , no início das avaliações, até 60 DAT, a  $0,0013 \text{ cm cm dia}^{-1}$ , no final das avaliações (354-396 DAT). Nery (2008), estudando diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, também verificou queda na TCR AP das plantas de pinhão manso com a idade, a taxa de crescimento variou em média  $0,0340 \text{ cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , no primeiro período (37-58 DAS), a  $0,0037 \text{ cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , no último período (142-163 DAS).

Tabela 19. Resumos das análises de regressão para a taxa de crescimento relativo em altura de plantas de pinhão manso, em função de diferentes níveis de reposição da ETC, em vários períodos estudados.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios								
		18 -60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144 -186 DAT	186 -228 DAT	228 -270 DAT	270 -312 DAT	312 -354 DAT	354 -396 DAT
<b>Nível de Reposição (Nr)</b>	<b>4</b>	0,000060**	2,807E-07 <sup>ns</sup>	8,487E-07 <sup>ns</sup>	1,632E-07 <sup>ns</sup>	9,607E-07 <sup>ns</sup>	1,582E-07 <sup>ns</sup>	0,000002*	2,867E-07 <sup>ns</sup>	1,857E-07 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	0,000178**	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000003 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000003*	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	0,000059*	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000003*	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	1	0,000003 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
Regressão 4 <sup>o</sup> grau	1	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	0,000004	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	2,940E-07 <sup>ns</sup>	7,232E-07 <sup>ns</sup>	7,640E-07 <sup>ns</sup>	8,860E-07 <sup>ns</sup>	6,373E-07 <sup>ns</sup>	1,733E-07
<b>Resíduo</b>	<b>12</b>	0,000007	0,000006	0,000002	0,000001	6,594E-07	7,452E-07	5,030E-07	0,000001	2,954E-07
<b>CV(%)</b>		9,66	18,13	32,52	48,73	46,01	59,95	36,00	51,61	40,56

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 20. Resumos das análises de variância e médias para a variável taxa de crescimento relativo em altura de plantas de pinhão manso, em função de diferentes níveis de reposição da ETC, em vários períodos estudados.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios								
		18 -60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144 -186 DAT	186 -228 DAT	228 -270 DAT	270 -312 DAT	312 -354 DAT	354 -396 DAT
<b>Tratamentos</b>	<b>5</b>	0,000050**	0,000011 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	4,917E-07 <sup>ns</sup>	0,000002**	0,000002 <sup>ns</sup>	2,047E-07 <sup>ns</sup>
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	0,000003 <sup>ns</sup>	0,000003 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	2,182E-07 <sup>ns</sup>	6,850E-07 <sup>ns</sup>	5,778E-07 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	7,748E-07 <sup>ns</sup>	1,694E-07 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>15</b>	0,000006	0,000005	0,000002	0,000001	5,436 E-07	6,401 E-07	4,189 E-07	8,732 E-07	2,884 E-07
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	0,000132**	0,000028*	0,000006 <sup>ns</sup>	0,000005 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	0,000011 <sup>ns</sup>	0,000029*	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000003 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000003*	0,000005*	0,000000 <sup>ns</sup>
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000035*	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000004 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000004**	0,000005*	0,000000 <sup>ns</sup>
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000033*	0,000006 <sup>ns</sup>	0,000006*	0,000004*	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000003*	0,000004*	0,000000 <sup>ns</sup>
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000038*	0,000005 <sup>ns</sup>	0,000006*	0,000006**	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000003*	0,000004 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>
<b>CV(%)</b>		8,86	17,16	33,17	53,79	46,32	60,76	35,79	52,77	41,58
<b>Tratamentos</b>		Médias (cm cm dia <sup>-1</sup> )								
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETC)		0,021575	0,013050	0,004825	0,002300	0,001525	0,001100	0,000800	0,001575	0,000975
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETC)		0,027325	0,013100	0,003900	0,002050	0,001425	0,001625	0,002275	0,002225	0,001375
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETC)		0,030525	0,013500	0,003900	0,002125	0,001300	0,001500	0,002350	0,002225	0,001400
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETC)		0,030375	0,013375	0,004725	0,002500	0,002175	0,001475	0,002250	0,002050	0,001400
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETC)		0,030600	0,013675	0,004650	0,002475	0,002400	0,001500	0,002175	0,001950	0,001550
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		0,029700	0,009325	0,003050	0,000775	0,000725	0,000700	0,001000	0,000600	0,001050

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

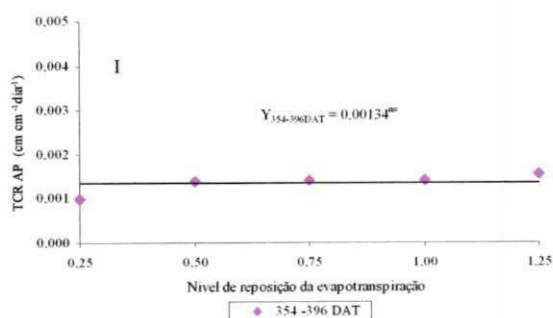
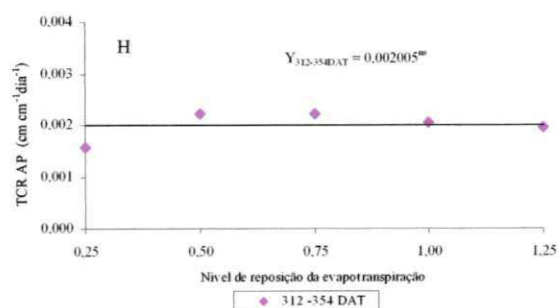
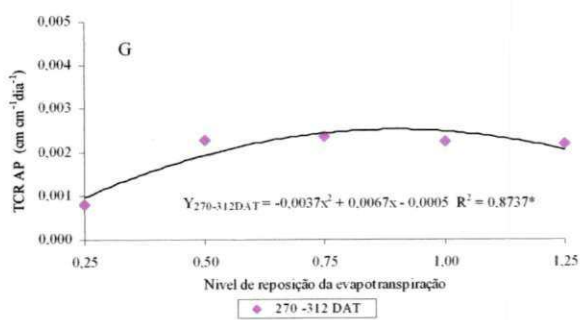
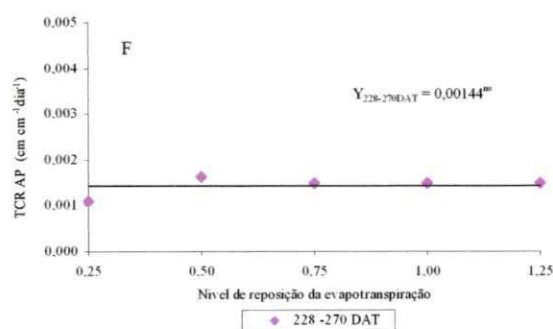
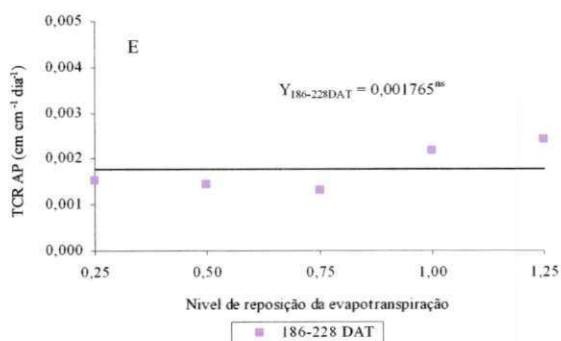
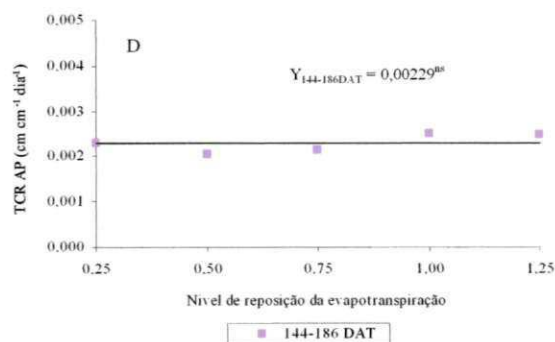
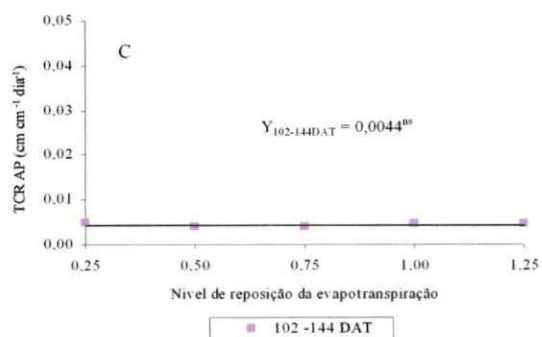
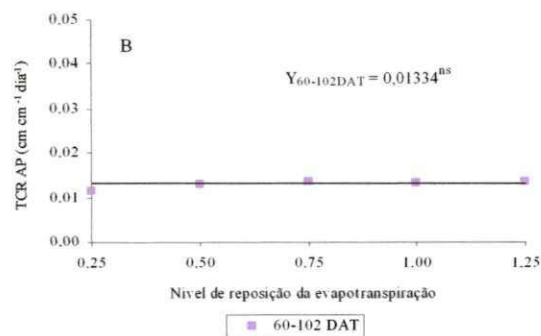
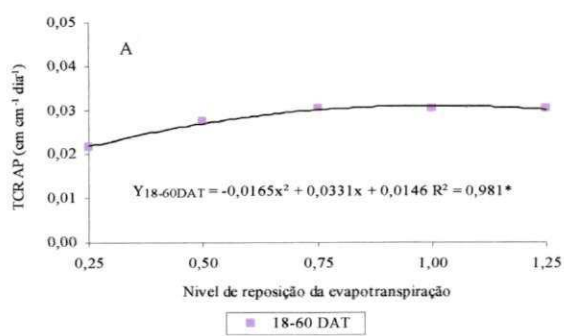


Figura 17. Taxa de crescimento relativo em altura de plantas do pinhão manso em função de diferentes níveis de reposição da ETc, em diversos períodos de avaliação.

#### 5.2.4. Taxas de Crescimento Relativo em Diâmetro Caulinar (TCR DC)

Percebe-se que o efeito de 'Nr' sobre a TCR DC foi menos acentuado em relação à TCA DC, que ocorreu em um maior número de períodos (Tabela 17). Conforme os resultados da análise de regressão, (Tabela 21), os níveis de reposição da evapotranspiração ocasionaram influência significativa sobre a TCR DC das plantas, da fase inicial de crescimento até o período compreendido entre 186-228 DAT.

A Figura 18 refere-se aos valores médios da taxa de crescimento relativo em diâmetro caulinar das plantas durante todo o período experimental. Foi observado nas Figuras 18 A, B, C e D ( $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ), que os tratamentos de 'Nr' ocasionaram efeitos lineares. Para a Figura 18 E, o melhor modelo de ajuste dos dados foi o quadrático e, através da aplicação das equações matemáticas, foi determinado o incremento na TCR DC ocorrido entre os tratamentos  $Nr_1$  e  $Nr_5$  de 77,22%.

Através dos modelos lineares (Figuras 18 A, B, C e D), foi determinado um aumento na TCR DC equivalente a 0,25% (18-60 DAT), 0,70% (60-102 DAT), 0,28% (102-144 DAT) e 1,18% (144-186 DAT), por cada centésimo de incremento da evapotranspiração.

De acordo com os contrastes apresentados na Tabela 22, os efeitos dos tratamentos foram mais representativos, principalmente na fase inicial de crescimento das plantas. Nos tratamentos com níveis de reposição da evapotranspiração (irrigação com água residuária) *versus* o tratamento testemunha (água de abastecimento), observa-se no contraste entre 0,25 da  $ET_c$  *versus* a testemunha, efeito significativo dos tratamentos sobre a TCR DC da fase inicial de crescimento das plantas até o período de 60-102 DAT. Para o contraste de 0,50 da  $ET_c$  *versus* a testemunha, observa-se efeito dos tratamentos até 60 DAT, e, no final das avaliações, de 354-396 DAT.

Para as plantas dos tratamentos com 0,75, 1,00 e 1,25 de reposição da  $ET_c$  *versus* a testemunha, as tendências de efeitos dos tratamentos sobre a TCR DC, ocorreram até 144 DAT, para as duas primeiras condições. Entretanto, no tratamento com reposição de 1,25 da  $ET_c$  foram verificadas diferenças significativas também no período de 186-228 DAT.

O crescimento em diâmetro caulinar das plantas que receberam 0,75 da  $ET_c$  foi aproximado ao diâmetro das plantas do tratamento testemunha. Enquanto as plantas irrigadas com 1,00 e 1,25 da  $ET_c$ , normalmente, apresentaram maiores diâmetros, resultando, portanto, em maiores TCR DC, (Tabela 22).

Tabela 21. Resumos das análises de regressão para a TCR DC do pinhão manso irrigado sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, em diversos períodos de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios								
		18 -60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144 -186 DAT	186 -228 DAT	228 -270 DAT	270 -312 DAT	312 -354 DAT	354 -396 DAT
<b>Nível de Reposição (Nr)</b>	<b>4</b>	0,000016*	0,000015**	8,817E-07 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000002**	8,925E-08 <sup>ns</sup>	1,470E-07 <sup>ns</sup>	8,750E-08 <sup>ns</sup>	7,425E-08 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	0,000048**	0,000052 **	0,000003*	0,000004*	0,000004**	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	0,000013 <sup>ns</sup>	0,000007*	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000003**	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	1	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
Regressão 4º grau	1	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	0,000012*	2,458E-07 <sup>ns</sup>	0,000003*	8,450E-08 <sup>ns</sup>	4,940E-07 <sup>ns</sup>	6,787E-07	0,000002 <sup>ns</sup>	5,325E-07 <sup>ns</sup>	3,360E-07 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>12</b>	0,000003	0,000001	5,440E-07	9,041E-07	2,811E-07	3,049E-07	0,000001	1,808E-07	4,955E-07
<b>CV(%)</b>		8,34	10,27	15,51	46,27	29,29	27,89	61,57	43,61	59,66

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 22. Resumos das análises de variância e médias para a variável taxa de crescimento relativo em diâmetro caulinar do pinhão manso irrigado sob diferentes níveis de reposição da ETc, em nove períodos de avaliação.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios								
		18 -60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144 -186 DAT	186 -228 DAT	228 -270 DAT	270 -312 DAT	312 -354 DAT	354 -396 DAT
<b>Tratamentos</b>	<b>5</b>	0,000018*	0,000013**	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000001**	1,890E-07 <sup>ns</sup>	5,284E-07 <sup>ns</sup>	1,300E-07 <sup>ns</sup>	5,467E-07 <sup>ns</sup>
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	0,000018 <sup>ns</sup>	6,715E-07 <sup>ns</sup>	0,000003**	2,361E-07 <sup>ns</sup>	4,761E-07 <sup>ns</sup>	8,000E-07 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	5,450E-07 <sup>ns</sup>	3,248E-07 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>15</b>	0,000004	0,000001	4,611E-07	7,921E-07	2,417E-07	4,077E-07	0,000001	1,760E-07	4,018E-07
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	0,000071**	0,000006*	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	0,000026*	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000002*
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	0,000004 <sup>ns</sup>	0,000007*	0,000002*	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	0,000006 <sup>ns</sup>	0,000014**	0,000002*	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	0,000004 <sup>ns</sup>	0,000012**	0,000004*	0,000003 <sup>ns</sup>	0,000002*	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,000002 <sup>ns</sup>
<b>CV(%)</b>		9,98	10,73	14,71	44,32	26,94	31,15	61,38	45,35	61,10
<b>Tratamentos</b>		Médias (mm mm <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )								
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		0,017475	0,007250	0,004350	0,001725	0,001600	0,002150	0,002250	0,000900	0,000975
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		0,019825	0,008775	0,004175	0,001675	0,001350	0,002100	0,002100	0,000875	0,001350
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		0,022100	0,010925	0,004950	0,001550	0,001350	0,001925	0,001950	0,000850	0,001200
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		0,021725	0,011700	0,005025	0,002250	0,001875	0,001950	0,001850	0,001050	0,001150
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		0,022000	0,011475	0,005275	0,003075	0,002875	0,001775	0,001775	0,001200	0,001225
Test.(0,60 dS m <sup>-1</sup> )		0,023450	0,009050	0,003925	0,001775	0,001900	0,002400	0,001200	0,000675	0,000325

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

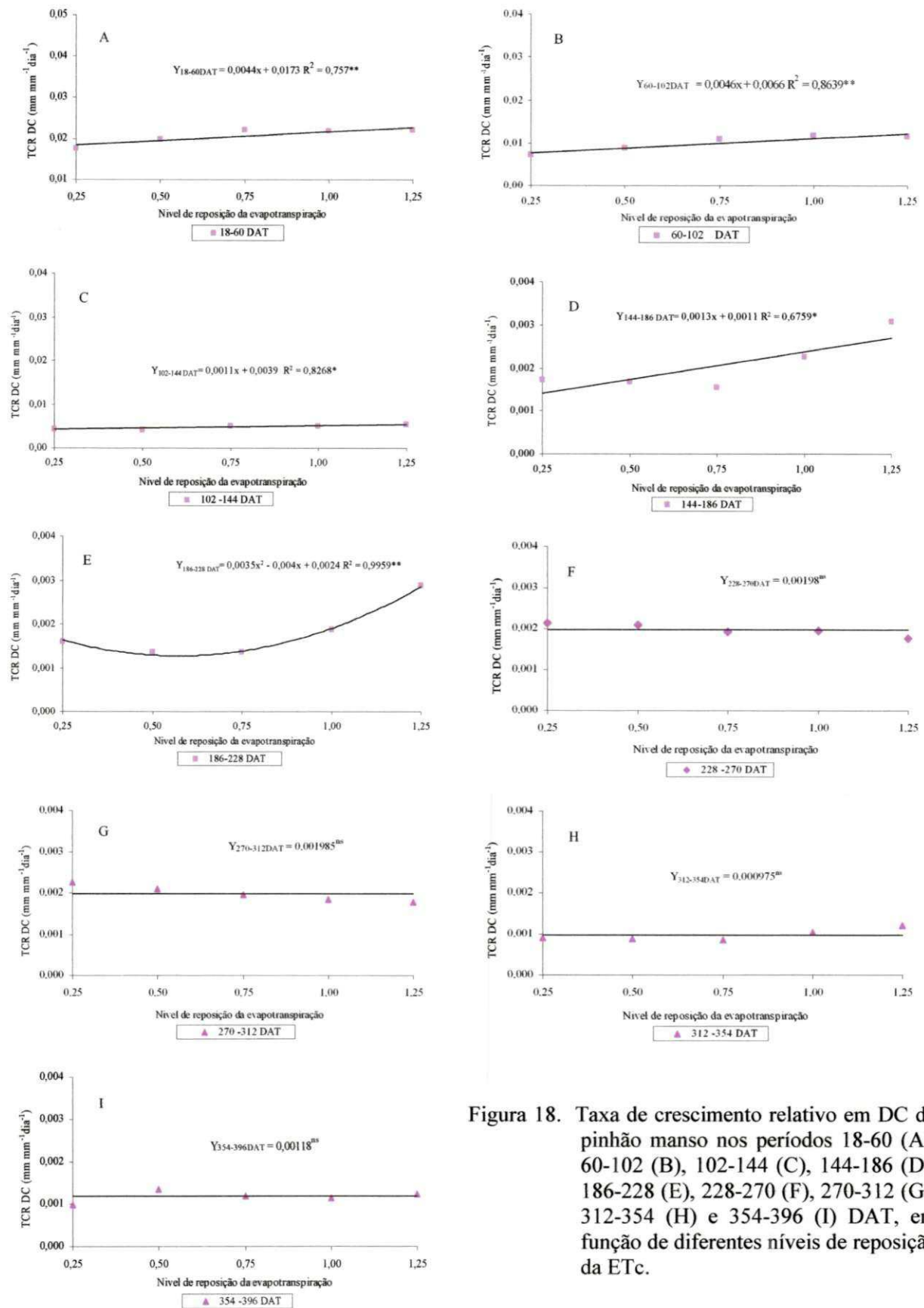


Figura 18. Taxa de crescimento relativo em DC do pinhão manso nos períodos 18-60 (A), 60-102 (B), 102-144 (C), 144-186 (D), 186-228 (E), 228-270 (F), 270-312 (G), 312-354 (H) e 354-396 (I) DAT, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.



### 5.2.5. Fluorescência da Clorofila 'a'

Todos os organismos fotossintéticos contêm um ou mais pigmentos orgânicos capazes de absorver a radiação visível que iniciarão as reações fotoquímicas da fotossíntese. Em plantas superiores, os principais pigmentos fotossintéticos são as clorofilas (a e b) e os carotenóides (TAIZ e ZEIGER, 2004).

O uso de parâmetros de fluorescência tem sido difundido, principalmente, no estudo de fotossíntese, por ser um método que, além de não destrutivo, permite uma análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (NETTO et al., 2005).

Foram realizadas três avaliações da fluorescência da clorofila 'a', durante o período experimental. Observou-se que os níveis de reposição da  $E_{Tc}$  afetaram a eficiência quântica máxima do fotossistema II, apenas aos 140 DAT, ao nível de 0,05 de probabilidade, (Tabela 23).

A redução na eficiência quântica máxima do fotossistema II ' $F_v/F_m$ ' é um indicativo de injúrias na estrutura dos tilacóides, entretanto, se a relação estiver contida no intervalo 0,75 a 0,85, o aparelho fotossintético se mantém intacto, sem qualquer dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989).

Pelos resultados da Tabela 24, nota-se que a relação  $F_v/F_m$  aos 90 e 140 DAT se manteve entre 0,80 e 0,83, indicando uma boa resposta da cultura. Nery (2008), em pesquisa com o pinhão manso cultivado sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, encontrou valores para a relação ' $F_v/F_m$ ' entre 0,80 e 0,85. Rodrigues (2008) observou na mamoneira cultivada sob estresse hídrico que as variáveis fluorescência máxima ( $F_m$ ) e variável ( $F_v$ ), a eficiência quântica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) e a relação  $F_v/F_o$  foram afetadas linearmente com o incremento da reposição de água no solo, entretanto, o autor concluiu que não houve danos fisiológicos ao aparelho fotossintético, uma vez que a relação  $F_v/F_m$  (rendimento máximo do fotossistema II – PII) permaneceu entre 0,75 a 0,85. Nesta pesquisa, aos 386 DAT a relação  $F_v/F_m$  variou em torno de 0,99, ultrapassando o limite proposto por Bolhâr-Nordenkampf et al., (1989) e Rodrigues (2008). Nesse período, possivelmente ocorreram danos fisiológicos ao aparelho fotossintético.

Analisando-se os contrastes contidos na Tabela 24, verificou-se nas plantas do tratamento com 0,25 da  $E_{Tc}$  versus a testemunha, que a relação  $F_v/F_m$  e  $F_v/F_o$  foram afetadas significativamente apenas na primeira avaliação (90 DAT), ao nível de 0,01 de

probabilidade. Para o contraste entre 0,50 da ETc *versus* testemunha, houve efeitos significativos dos tratamentos na relação Fv/Fm nas três avaliações, enquanto na relação Fv/Fo ocorreram efeitos apenas aos 90 e 140 DAT. No contraste entre as plantas do tratamento com 0,75 da ETc *versus* testemunha, notam-se, na relação Fv/Fm, tendências de efeitos entre os tratamentos aos 140 e 386 DAT; já na relação Fv/Fo, só foi verificado tendência de efeitos aos 90 e 140 DAT.

Para as plantas cultivadas sem estresse hídrico, contrastes 1,00 e 1,25 da ETc *versus* a testemunha, as diferenças significativas foram evidentes na última avaliação nas plantas tratadas com 1,00 da ETc, e aos 140 DAT naquelas com 1,25 de reposição da evapotranspiração.

As médias para fluorescência da clorofila 'a', obtidas em função dos níveis de reposição da evapotranspiração, estão apresentadas na Tabela 24 e Figura 19. A eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm), Figuras 19 A, 19 C e 19 E resultou nos respectivos decréscimos, 2,47; 0,65 e 3,51%, entre os tratamentos Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub>, com o aumento da reposição da água no solo. Para a relação Fv/Fo (Figuras 19 B, 19 D e 19 F) os decréscimos entre Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub> foram, respectivamente, de 13,71; 2,01 e 18,88%.

O elevado potencial de produção primária das espécies via fotossintética C<sub>4</sub>, em comparação com as C<sub>3</sub>, como o pinhão manso, segundo Rodrigues e Rodrigues (1994), tem sido atribuído às condições de regiões tropicais, em baixas latitudes, maior insolação e elevada temperatura bem como a melhor eficiência no uso da água.

Tabela 23. Resumos das análises de regressão para a eficiência quântica do fotossistema II – Fv/Fm; relação Fv/Fo do pinhão manso aos 90 DAT, 140 DAT e 396 DAT.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios					
		Fv/Fm 90 DAT	Fv/Fo 90 DAT	Fv/Fm 140 DAT	Fv/Fo 140 DAT	Fv/Fm 386 DAT	Fv/Fo 386 DAT
Nível de reposição (Nr)	4	0,000313 <sup>ns</sup>	0,266233 <sup>ns</sup>	0,000170*	0,154583 <sup>ns</sup>	0,000694 <sup>ns</sup>	0,619661 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	0,0010*	0,870250*	0,000000 <sup>ns</sup>	0,011560 <sup>ns</sup>	0,002011*	1,673955*
Regressão Quadrática	1	0,000 <sup>ns</sup>	0,154350 <sup>ns</sup>	0,000257*	0,154350 <sup>ns</sup>	0,000001 <sup>ns</sup>	0,013516 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	1	0,000063 <sup>ns</sup>	0,030250 <sup>ns</sup>	0,000250*	0,273903*	0,000004 <sup>ns</sup>	0,001341 <sup>ns</sup>
Regressão 4º grau	1	0,000009 <sup>ns</sup>	0,010080 <sup>ns</sup>	0,000173 <sup>ns</sup>	0,178518 <sup>ns</sup>	0,000762 <sup>ns</sup>	0,789831 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,000067 <sup>ns</sup>	0,040098 <sup>ns</sup>	0,000005 <sup>ns</sup>	0,017740 <sup>ns</sup>	0,000466 <sup>ns</sup>	0,433093 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	0,00013	0,127186	0,000047	0,055169	0,000256	0,229150
CV(%)		1,39	7,76	0,82	4,71	1,94	10,09

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 24. Resumos das análises de variância e médias para a eficiência quântica do fotossistema II – Fv/Fm; relação Fv/Fo do pinhão manso aos 90, 140 e 396 DAT.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios					
		Fv/Fm 90 DAT	Fv/F0 90 DAT	Fv/Fm 140 DAT	Fv/F0 140 DAT	Fv/Fm 386 DAT	Fv/F0 386 DAT
<b>Tratamentos</b>	<b>5</b>	0,0004*	0,4286*	0,0002**	0,2337**	6,417E-09 <sup>ns</sup>	902624,6286 <sup>ns</sup>
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,0471 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0336 <sup>ns</sup>	2,639E-09 <sup>ns</sup>	335271,4563 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>15</b>	0,0001	0,1074	0,0000	0,0489	3,972E-09	510571,5095
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	0,0020**	2,0070**	0,0001 <sup>ns</sup>	0,1504 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	1989463,5139 <sup>ns</sup>
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	0,0006*	0,6786*	0,0005**	0,5848**	0,0000*	1264028,8531 <sup>ns</sup>
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	0,0004 <sup>ns</sup>	0,4905*	0,0007**	0,8752**	0,0000*	431193,5075 <sup>ns</sup>
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	0,0003 <sup>ns</sup>	0,3148 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,0609 <sup>ns</sup>	0,0000*	3012549,4804*
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	0,0002 <sup>ns</sup>	0,2506 <sup>ns</sup>	0,0002*	0,2801*	0,0000*	2858654,9767*
<b>CV(%)</b>	-	1,26	6,98	0,73	4,49	0,01	15,18
<b>Tratamentos</b>		<b>Médias</b>					
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETC)		0,8060	4,1635	0,8292	4,8595	0,9997	4926,1012
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETC)		0,8195	4,5827	0,8365	5,1260	0,9998	4723,7321
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETC)		0,8230	4,6700	0,8397	5,2467	0,9998	4393,0628
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETC)		0,8262	4,7685	0,8262	4,7597	0,9998	5156,0426
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETC)		0,8277	4,8112	0,8320	4,9595	0,9998	5124,2836
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		0,8375	5,1652	0,8207	4,5852	0,9997	3928,7388

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

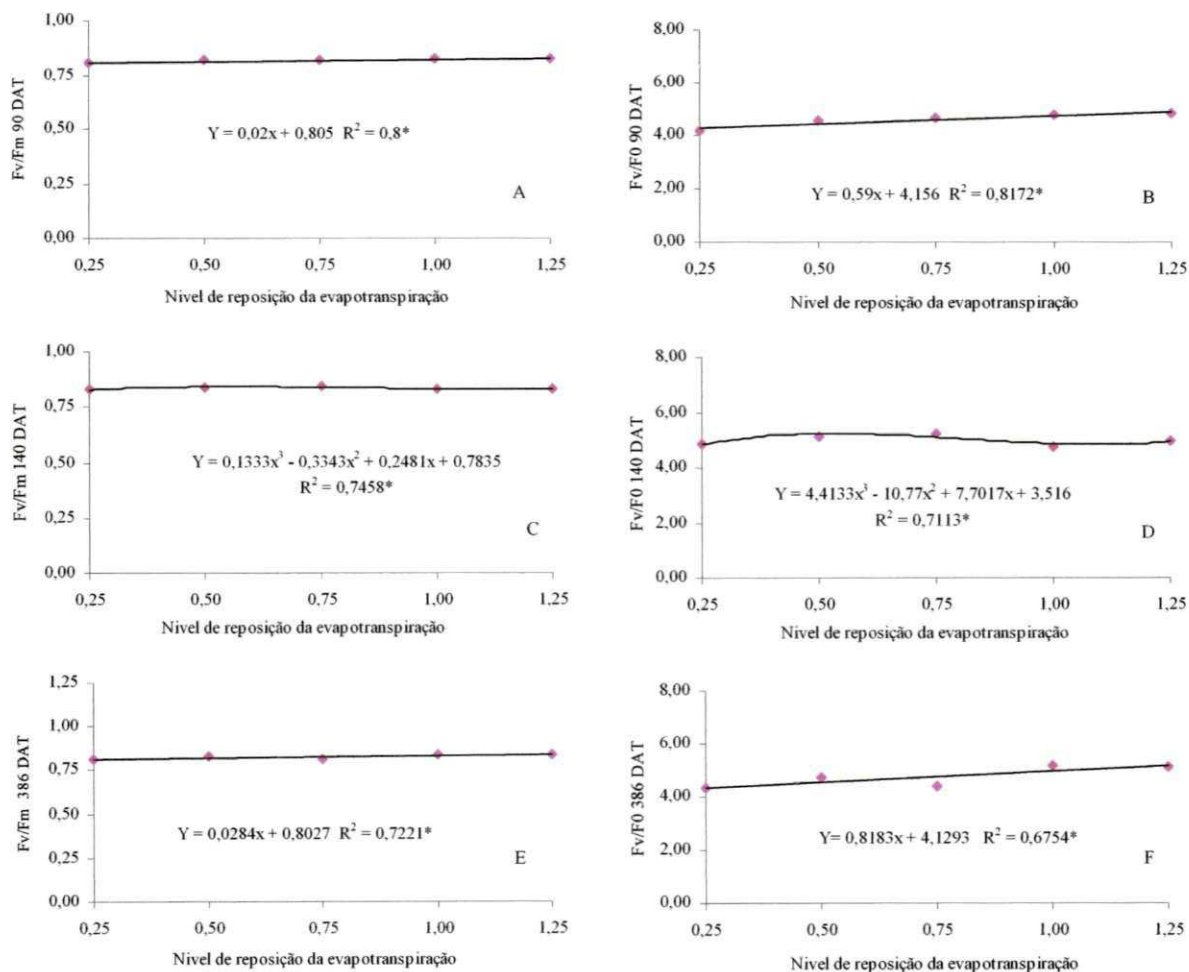


Figura 19. Eficiência Quântica do Fotossistema II 'Fv/Fm' (A, C e E) e relação Fv/F0 (B, D e F), aos 90, 140 e 386 DAT, em função de diferentes níveis de reposição da ETC.

### 5.3. Variáveis de Produção

#### 5.3.1. Emissão das Primeiras Inflorescências

Conforme os resultados da Tabela 25 e Figura 20, os níveis de reposição da ETc não afetaram, significativamente, a emissão das três primeiras inflorescências das plantas de pinhão manso.

De acordo com a análise de variância (Tabela 26), não houve diferenças significativas em nenhum dos contrastes entre as plantas dos tratamentos com níveis de reposição da ETc com as plantas do tratamento testemunha. A emissão das três inflorescências iniciais surgiram, em média, aos 80, 89 e 96 DAT; entre a 1ª e a 2ª inflorescência o intervalo foi de nove dias, enquanto entre a 2ª a 3ª inflorescência foi de sete dias (Tabela 26). Nery (2008) observou atraso de cerca de 8 dias na emissão da terceira inflorescência nas plantas de pinhão manso irrigadas com água de CE de 3,00 dS m<sup>-1</sup>, em relação às plantas irrigadas com água de CE de 0,60 dS m<sup>-1</sup>. A mesma autora, constatou nas plantas irrigadas com água de CEai = 3,00 dS m<sup>-1</sup> em relação àquelas irrigadas com água de CEai = 2,40 dS m<sup>-1</sup> que a emissão das três primeiras inflorescências aconteceram mais cedo ou na mesma época. Rodrigues (2008) observou na mamoneira atraso de 10 dias no início da floração, ocorrendo aos 72 e 82 dias nas plantas irrigadas com 120 e 60% da evapotranspiração. Segundo Saturnino et al. (2005), as inflorescências do pinhão manso surgem junto com as folhas novas.

Lacerda (2006) observou que o início da floração da mamoneira é antecipado sob condições de maior disponibilidade hídrica no solo. Com 70, 90 e 100% de água disponível (AD), o autor registrou que as três primeiras inflorescências na mamona surgiram aos 101, 73 e 69 DAS, respectivamente. No entanto, Koutroubas et al. (2000), relatam que a quantidade de água requerida para irrigar a mamoneira irá depender entre outros fatores da cultivar considerada, do estágio fenológico e das condições ambientais. Também tem sido observado que em condições irrigadas ou sob elevada disponibilidade de umidade a planta altera seu porte, apresentando crescimento exuberante, retardando o florescimento e a maturação dos frutos (WEISS,1971). Conforme Beltrão (2002), a emissão da primeira inflorescência ocorre entre 50 e 60 dias após a germinação. Barros Junior et al. (2004b) verificaram que as emissões nas cultivares BRS Paraguaçu e BRS Nordestina aconteceram, em média, aos 39 e 50 DAS, respectivamente. Rodrigues (2008) observou início da floração da cultivar BRS Nordestina

aos 50 DAS e na BRS Paraguaçu aos 54 DAS, sem ser verificado pela interação significativa entre essas cultivares e os níveis de reposição da evapotranspiração.

Tabela 25. Resumo das análises de regressão da emissão das três primeiras inflorescências do pinhão manso, cultivado em função de diferentes níveis de umidade do solo.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		1ª Inflorescência	2ª Inflorescência	3ª Inflorescência
Nível de reposição (Nr)	4	92,9875 <sup>ns</sup>	127,8937 <sup>ns</sup>	217,2062 <sup>ns</sup>
Regressão Linear	1	9,0250 <sup>ns</sup>	4,2250 <sup>ns</sup>	319,2250 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática	1	82,5714 <sup>ns</sup>	4,5714 <sup>ns</sup>	3,5000 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	1	172,2250 <sup>ns</sup>	369,0562 <sup>ns</sup>	432,3062 <sup>ns</sup>
Regressão 4º grau	1	108,1286 <sup>ns</sup>	133,7223 <sup>ns</sup>	113,7937 <sup>ns</sup>
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	111,5000 <sup>ns</sup>	125,4125 <sup>ns</sup>	174,3167 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>12</b>	173,8958	156,4437	237,3896
<b>CV(%)</b>		16,42	14,12	15,97

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 26. Resumo das análises de variância e médias da emissão das três primeiras inflorescências do pinhão manso cultivado em função de diferentes níveis de umidade do solo.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		1ª Inflorescência	2ª Inflorescência	3ª Inflorescência
<b>Tratamentos</b>	<b>5</b>	99,8104 <sup>ns</sup>	149,9167 <sup>ns</sup>	283,4187 <sup>ns</sup>
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	57,0382 <sup>ns</sup>	59,9722 <sup>ns</sup>	75,3437 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>15</b>	157,4882	149,2556	224,6187
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	10,1250 <sup>ns</sup>	108,7812 <sup>ns</sup>	639,0312 <sup>ns</sup>
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	21,1250 <sup>ns</sup>	10,1250 <sup>ns</sup>	116,2812 <sup>ns</sup>
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	8,0000 <sup>ns</sup>	24,5000 <sup>ns</sup>	28,1250 <sup>ns</sup>
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	16,5312 <sup>ns</sup>	3,7812 <sup>ns</sup>	45,1250 <sup>ns</sup>
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	312,5000 <sup>ns</sup>	378,1250 <sup>ns</sup>	457,5312 <sup>ns</sup>
<b>CV(%)</b>	-	15,83	14,02	15,89
<b>Tratamentos</b>		<b>Médias (DAT)</b>		
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		78,3750	91,0000	105,2500
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		79,3750	85,8750	95,0000
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		79,0000	85,0000	92,1250
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		88,6250	97,3750	102,5000
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		76,1250	83,6250	87,3750
Test.(0,60 dS m <sup>-1</sup> )		74,1250	80,1250	83,6250

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

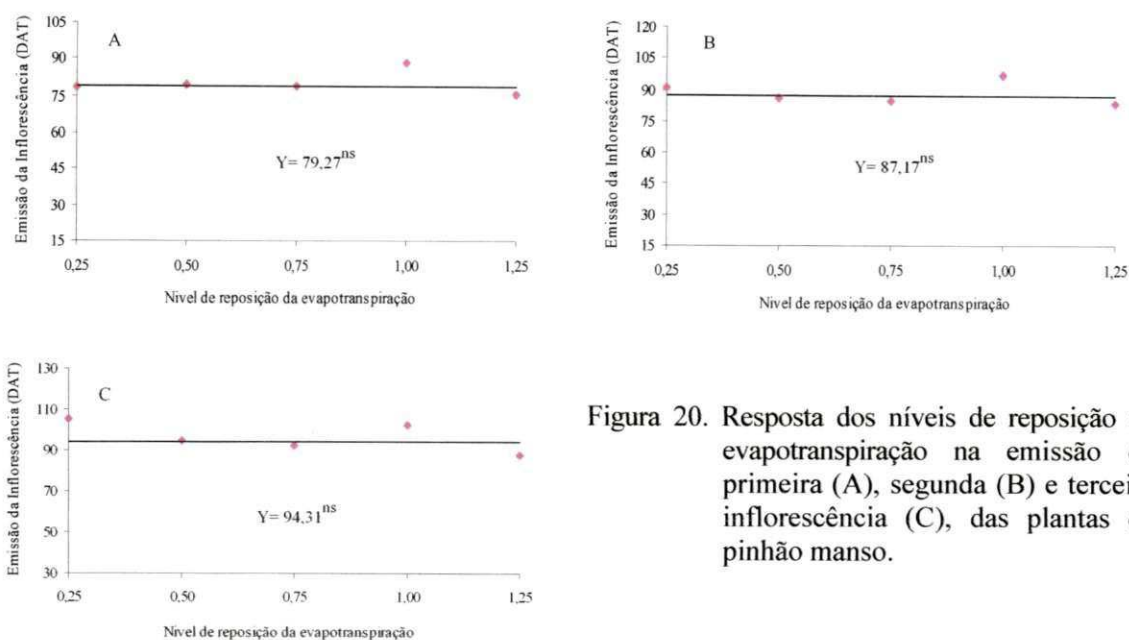


Figura 20. Resposta dos níveis de reposição da evapotranspiração na emissão da primeira (A), segunda (B) e terceira inflorescência (C), das plantas de pinhão manso.

### 5.3.2. Número Médio de Cachos, Peso Médio dos Frutos e Número Médio de Frutos

A produção do pinhão manso é variável e depende da região, método de cultivo e tratos culturais, bem como, da fertilidade do solo.

Os componentes de produção do pinhão manso, apresentados na Tabela 27, foram avaliados desde o início da produção até o final do experimento, aos 396 DAT. Observa-se que os tratamentos 'Nr' da ETc afetaram significativamente ao nível de 0,01 de probabilidade, o número médio de cachos, peso médio das sementes e o peso e número médio de frutos.

Nas Figuras 21 A, B, C e D, constatam-se que os dados das componentes de produção se ajustaram melhor ao modelo exponencial. Ocorreu uma elevada variação na produção das plantas, entre os tratamentos Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub>. Com base nas equações matemáticas apresentadas na Figura 21, os incrementos entre os tratamentos Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub>, foram de 648,80% para o número médio de cachos, 1515,61% para o peso médio das sementes, 1423,20% para o peso médio dos frutos e 976,39% para o número médio de frutos.

Analisando-se os dados da análise de variância (Tabela 28), as plantas submetidas ao maior índice de estresse hídrico (0,25 da ETc) produziram em média, apenas 11 cachos, enquanto que nas cultivadas sob maior reposição de água para manutenção do solo com teor de umidade equivalente a 1,25 da ETc, a produção total foi de 103 cachos. Esse resultado foi semelhante nas variáveis, peso das sementes e peso e número de frutos. O aumento do teor de umidade do solo contribuiu para uma maior produção das plantas

A água constitui mais de 80% da maioria dos tecidos vegetais. Ela forma uma fase contínua desde os pêlos absorventes das raízes até a epiderme das folhas, esta última constituindo-se uma barreira à perda de água pelo vegetal, regulada pelos estômatos. A resistência do fluxo de vapor da água é mínima quando os estômatos são abertos, entretanto, quando eles se fecham, ocorrem mudanças no metabolismo das plantas (JONES et al. 1985), fazendo com que a planta se adapte às novas condições e ajuste o fluxo osmótico (MUNNS; BRADY; BARLOW, 1979), em conseqüência, reduzindo a assimilação clorofiliana e influenciando o crescimento de frutos e de troncos.

Quanto maior o número de frutos e a quantidade de sementes por frutos colhidas, maior será o peso das sementes. Na Figura 21 B, está claramente explicitado, que as plantas cultivadas em condições de elevada umidade do solo, foram superiores àquelas sob limitação hídrica, quanto ao peso das sementes. Coletti (2008) obteve em plantas de pinhão manso, produtividade média, por planta, em condições irrigadas de 83,02 gramas, produzindo assim, 92,25 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto as plantas não irrigadas a média de produtividade por planta foi de 63,72 gramas, com produtividade de 70,8 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. As plantas irrigadas produziram 23,24% (21,44 kg ha<sup>-1</sup>) a mais que as não irrigadas. Segundo Drumond (2007), na região de Petrolina – PE, nos nove primeiros meses de implantação da cultura, com espaçamento de 2 x 2, a produtividade média de sementes por hectare das plantas que foram irrigadas (871 kg ha<sup>-1</sup>) foi 3,5 vezes maior do que aquela obtida apenas com o regime normal de chuva (246 kg ha<sup>-1</sup>).

Nos contrastes de 0,75 e 1,00 da ETc *versus* a testemunha, realizados para a variável de produção número médio de cachos, não foram observados efeitos significativos dos tratamentos. Entretanto, para o peso das sementes, houve influência significativamente dos tratamentos na maioria das situações, sendo ao nível de 0,05 de probabilidade para os contrastes 0,25 e 0,75 da ETc, e ao nível de 0,01 de probabilidade para os contrastes 1,00 e 1,25 da evapotranspiração. Na condição de reposição de 0,50 da ETc *versus* a testemunha, não houve influências significativas dos tratamentos, Tabela 28.

O peso médio dos frutos foi influenciado pelos tratamentos nos contrastes de 0,25, 1,00 e 1,25 da ETc *versus* o tratamento testemunha, ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F. Nas condições de 0,50 e 0,75 da ETc *versus* testemunha, essa variável não diferiu estatisticamente, do tratamento testemunha.

A componente de produção número médio de frutos foi afetada em todas as situações de contrastes estudadas. A média do número de frutos das plantas irrigadas com água



residuária, variou de 62 (0,25 da ETc) para 816 (1,25 da ETc). No tratamento testemunha (água de abastecimento) foram coletados, em média, 241 frutos, (Tabela 28).

Peixoto (1973) obteve numa amostra de 1,736 frutos secos colhidos, uma média de 2,75 sementes/fruto, peso médio de frutos e sementes de 2,97 e 0,72 g, respectivamente, e informaram que do peso total dos frutos, 66,77% eram sementes e 33,23% cascas.

Para Avelar et al. (2005), quanto maior o período de tempo disponível para a planta com condições ambientais favoráveis, maior será o número de frutos formados e, portanto, maior a produtividade. Nesta pesquisa, foi observado que as plantas apresentavam produção contínua, principalmente aquelas sob situação de disponibilidade de água no solo.

Tabela 27. Resumos das análises de regressão para as variáveis número médio de cachos, peso médio das sementes, peso médio de frutos e número médio de frutos, durante a produção.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		Número médio de cachos	Peso médio das sementes	Peso médio dos frutos	Número médio de frutos
Nível de rep. (Nr)	4	5360,8937**	1323488,6915**	2862763,42500**	364830,0750**
Exponencial (X)	1	20962,3052**	5269859,3674**	11382052,9208**	1447842,4364**
Blocos	3	69,3458	12770,2454	30295,8667	4005,3833
Resíduo	12	98,2937	4837,2128	10594,1583	1553,5083
CV(%)		25,37	12,84	13,06	13,20

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 28. Resumos das análises de variância e médias para as variáveis número de cachos, peso médio dos frutos e número médio de frutos, durante a produção.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		Nº de cachos	Peso das sementes	Peso dos frutos	Nº de frutos
Tratamentos	5	4288,7854**	1139149,2000**	2369652,7667**	294118,3417**
Blocos	3	65,5382 <sup>ns</sup>	12703,6111 <sup>ns</sup>	29701,5556 <sup>ns</sup>	3259,3750 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	81,8465	4149,4444	9892,7222	1443,5417
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	1540,1250**	27730,1250*	227138,0000**	64082,0000**
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	712,5312**	2080,125000 <sup>ns</sup>	21528,125000 <sup>ns</sup>	20706,1250**
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	282,0312 <sup>ns</sup>	20604,5000*	800,0000 <sup>ns</sup>	9180,1250*
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	28,1250 <sup>ns</sup>	328455,1250**	330891,1250**	8256,1250*
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	8160,0312**	3478203,1250**	6336800,0000**	661250,0000**
CV(%)	-	23,18	13,32	13,61	13,15
		Médias/tratamento			
Tratamentos		-	(g)	(g)	-
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		11,0000	76,0000	106,0000	62,0000
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		20,0000	226,0000	339,2500	139,0000
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		27,0000	295,2500	423,0000	173,0000
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		35,0000	599,0000	849,7500	305,0000
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		103,0000	1512,0000	2223,0000	816,0000
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		39,0000	193,7500	443,0000	241,0000

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.



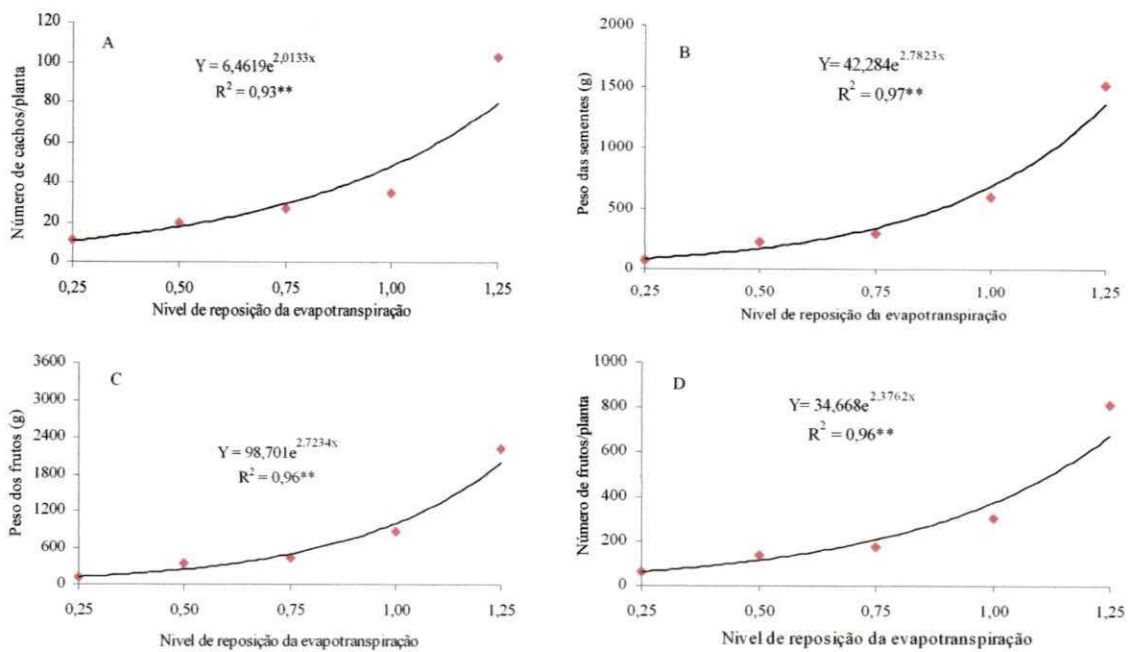


Figura 21. Valores médios do número de cachos (A), peso das sementes (B) peso dos frutos (C) e número de frutos (D), em cada tratamento durante a produção.

### 5.3.3. Teor de Óleo das Sementes

O resumo das análises de regressão para a variável teor de óleo das sementes das plantas de pinhão manso, obtidos em dois períodos, aos 249 e 396 DAT, está na Tabela 29. Verificam-se efeitos significativos ( $p < 0,01$ ) sobre essa variável, em função dos diferentes níveis de reposição da evapotranspiração nos dois períodos analisados.

Pelos dados da Tabela 30 e Figura 22, verificam-se tendências de aumento no teor de óleo das sementes em função do tempo e do tratamento; essa resposta das plantas, possivelmente, está relacionada a mudanças climáticas e ao aumento da fertilidade do solo no decorrer do tempo. Portanto, aos 249 DAT, foram registrados 32,33 e 40,52% de óleo nas sementes, respectivamente, para os tratamentos com 0,25 e 1,00 da ETc. Já aos 396 DAT esses valores aumentaram para 35,92 e 41,95%, (Tabela 30).

Vários fatores como solo, adubação, pluviometria e altitude, podem afetar a produção e a qualidade da semente e, em consequência, o teor de óleo. O uso de água residuária, devido ao aporte de alguns nutrientes, pode contribuir para o aumento do teor de óleo nas sementes. Severino et al. (2005) verificaram a importância do estado nutricional da mamoneira sobre o teor de óleo nas sementes, com diferenças significativas entre os tratamentos com e sem adubação, aumentando de 43,5 % para 47,4 % com fornecimento de fertilizantes.

Aos 249 DAT, notam-se influências significativas dos tratamentos apenas nos contrastes entre 0,25, 1,00 e 1,25 da ETc *versus* o tratamento testemunha. As plantas irrigadas com maiores níveis de reposição da ETc produziram sementes com maior peso (Tabela 28) e, conseqüentemente, maior quantidade de óleo. Aos 396 dias após o transplântio, em todos os contrastes foram verificadas diferenças significativas dos tratamentos, (Tabela 30).

O teor de óleo extraído das sementes das plantas cultivadas em condições de estresse hídrico (0,25, 0,50 e 0,75 da ETc), Tabela 30, foi aproximado ou maior que o teor de óleo determinado nas sementes das plantas do tratamento testemunha (água de abastecimento), nos dois períodos analisados. Esses resultados reforçam as informações da literatura, sobre a importância dos nutrientes existentes na água residuária, no crescimento/desenvolvimento das plantas.

Nesta pesquisa, o maior valor percentual de óleo extraído das sementes de pinhão manso foi de 41,95%, esse resultado se compatibiliza com as informações de Melo et al. (2006) que determinaram pelo método da extração do óleo com hexano, um teor médio de óleo de 42% em amêndoas das sementes de pinhão manso.

Para Drumond et al. (2006), há diferencial nos teores de óleo da cultivar BRS Nordestina que variaram entre 47,9 e 54,5% para uma mesma região do estado de Pernambuco e para o mesmo período de plantio e colheita.

Tabela 29. Resumos das análises de regressão para o teor de óleo das sementes aos 249 e 396 DAT, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios	
		Teor de óleo 249 DAT	Teor de óleo 396 DAT
Nível de rep. (Nr)	4	61,0750**	21,5500**
Regressão Linear	1	230,4000**	81,2250**
Regr. Quadrática	1	0,6429 <sup>ns</sup>	4,0179**
Regressão cúbica	1	12,1000*	0,9000 <sup>ns</sup>
Regressão 4º grau	1	1,1571 <sup>ns</sup>	0,0571 <sup>ns</sup>
Blocos	3	3,3833 <sup>ns</sup>	0,0500 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	1,5083	0,3833
CV(%)		3,38	1,61

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 30. Resumos das análises de regressão e médias para o teor de óleo das sementes aos 249 e 396 DAT, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		Teor de óleo 249 DAT	Teor de óleo 396 DAT
<b>Tratamentos</b>	<b>5</b>	50,5667**	30,4417**
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	1,6111 <sup>ns</sup>	0,0417 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>15</b>	2,1444	0,3083
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	12,5000*	8,0000**
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	6,1250 <sup>ns</sup>	18,0000**
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	2,0000 <sup>ns</sup>	32,0000**
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	55,1250**	55,1250**
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	72,0000**	128,0000**
<b>CV(%)</b>	-	4,06	1,47
<b>Tratamentos</b>		Médias (%)	
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		32,3325	35,9200
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		33,1450	36,6700
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		36,1250	37,8475
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		40,2750	39,1850
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		40,5250	41,9475
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		35,0050	33,8900

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

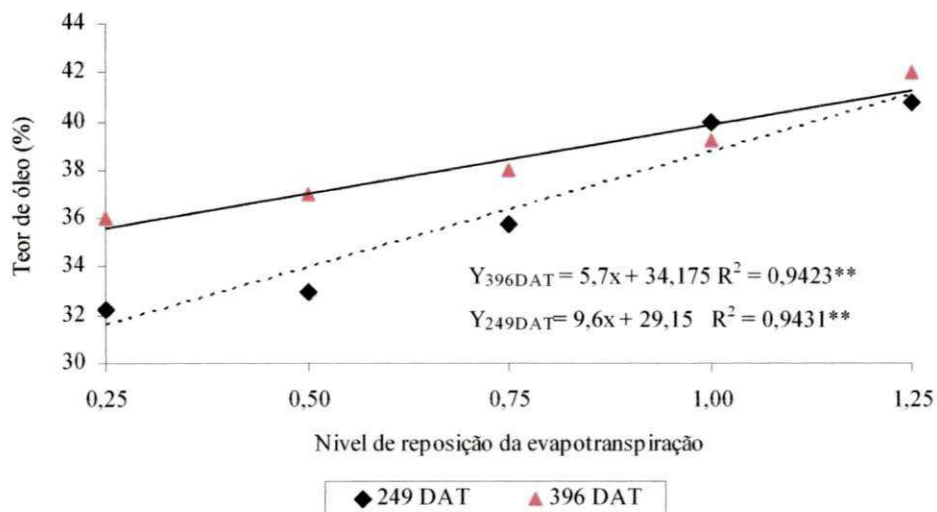


Figura 22. Valores médios do teor de óleo das sementes de plantas de pinhão manso determinados aos 249 e 396 dias após o transplantio.

## 5.4. Variáveis de Balanço Hídrico

### 5.4.1. Evapotranspiração da Cultura (ETc)

Na Tabela 31, observa-se o resumo das análises de regressão para a variável evapotranspiração da cultura, calculada através de balanço hídrico. Verificam-se influências significativas dos tratamentos, em todas as épocas estudadas, ao nível de 1% de probabilidade, pelo Teste F.

Analisando-se as médias da ETc apresentadas na Tabela 32, constata-se que as taxas de evapotranspiração das plantas aumentaram com o incremento do nível de reposição da evapotranspiração da cultura. Nas Figuras 23 A, B, C, D, E, F e G, verificam-se elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ), um indicativo do alto grau de associação entre as lâminas de irrigação e a taxa de evapotranspiração.

À medida que foi adicionado ao solo maiores níveis de umidade, as plantas aumentaram sua taxa de evapotranspiração (ETc). Sendo assim, aplicou-se os modelos lineares (Figura 23 A, B, C e D) para a ETc, e calculou-se aumento unitário de 0,022, 0,049, 0,090 e 0,122 mm dia<sup>-1</sup> na ETc, para cada centésimo de incremento da evapotranspiração aplicado.

A partir de 186 dias após o transplante os dados foram melhor ajustados ao modelo exponencial Figura 23, e, através de suas respectivas equações, foram determinados os acréscimos na ETc, entre os tratamentos de maior e menor nível de reposição da evapotranspiração (0,25 e 1,25) de 684,13, 817,15, 801,60, 767,55 e 685,07%, respectivamente, nos períodos 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 DAT.

Nos resultados dos contrastes realizados entre os cinco níveis de reposição da ETc e o tratamento testemunha (Tabela 32), observa-se nas plantas tratadas com 0,25, 1,00 e 1,25 da ETc *versus* o tratamento testemunha, ocorrência de efeito significativo dos tratamentos em todas os períodos estudados. No contraste entre 0,50 da ETc *versus* o tratamento testemunha, ocorreram tendências de efeitos dos tratamentos até 270 DAT. Já no contraste entre 0,75 da ETc *versus* testemunha o efeito significativo dos tratamentos se deu até 186 DAT, e no final das avaliações experimentais (354-396DAT).

Nos tratamentos em que as plantas não foram submetidas a condições de estresse hídrico (Nr = 1,00 e 1,25 da ETc), obtiveram-se as maiores taxas de evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>), em função do maior número de folhas das plantas e, conseqüentemente, da

maior área foliar, que foi superior aos demais tratamentos. Rodrigues (2008) em estudo de estresse hídrico com a mamoneira, em ambiente protegido, registrou taxas de evapotranspiração que oscilaram entre 5,00 e 17,00 mm dia<sup>-1</sup>. Nery (2008), trabalhando com salinidade na cultura do pinhão manso, registrou maior área foliar em relação à mamoneira que chegou, em média, a 1,60 m<sup>2</sup>/planta.

A taxa média diária da evapotranspiração dos cinco tratamentos de “Nr” (Tabela 32 e Figura 23), aumentou com a idade das plantas, variando de 1,64 mm dia<sup>-1</sup> aos 18-60 DAT para 8,46 mm dia<sup>-1</sup> aos 354-396 DAT. Esse mesmo fato foi observado por Nery (2008), estudando o crescimento e desenvolvimento do pinhão manso, sob condições de estresse salino, em ambiente protegido, registrando uma taxa média diária da ETc entre 3,30 mm (37-58 DAS) e 8,17 mm (142-163 DAS).

Tabela 31. Resumos das análises de regressão da ETc (mm dia<sup>-1</sup>) das plantas de pinhão manso nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 dias após o transplântio.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios								
		18 -60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144 -186 DAT	186 -228 DAT	228 -270 DAT	270 -312 DAT	312 -354 DAT	354 -396 DAT
Nível de Reposição (Nr)	4	3,1243**	14,8993**	50,8641**	97,4623**	470675,0817**	670251,1574**	416232,3431**	498277,3482**	370941,3506**
Regressão Linear	1	12,4244**	59,3946**	202,7656**	373,9873**	-	-	-	-	-
Regressão Quadrática	1	0,0246 <sup>ns</sup>	0,0329 <sup>ns</sup>	0,1117 <sup>ns</sup>	10,3089**	-	-	-	-	-
Regressão cúbica	1	0,0347 <sup>ns</sup>	0,1114*	0,3806*	4,6594**	-	-	-	-	-
Regressão 4º grau	1	0,0136 <sup>ns</sup>	0,0583 <sup>ns</sup>	0,1985 <sup>ns</sup>	0,8936 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-
Exponencial (X)	1	-	-	-	-	1848458,3839**	2627043,5466**	1631532,2040**	1956264,5444**	1455219,5738**
Blocos	3	0,0087 <sup>ns</sup>	0,0262 <sup>ns</sup>	0,0894 <sup>ns</sup>	0,2504 <sup>ns</sup>	1985,8086 <sup>ns</sup>	1151,5729 <sup>ns</sup>	2325,4469 <sup>ns</sup>	2563,8701 <sup>ns</sup>	2703,7981 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	0,0074	0,0134	0,0458	0,3668	3118,0041	1085,8668	2074,9569	2294,2034	2338,8213
CV(%)		5,23	3,16	3,16	7,52	13,82	7,81	13,55	12,59	13,62

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 32. Resumos das análises de variância e médias da evapotranspiração da cultura, nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 dias após o transplântio.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios								
		18 -60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144 -186 DAT	186 -228 DAT	228 -270 DAT	270 -312 DAT	312 -354 DAT	354 -396 DAT
Tratamentos	5	2,5449**	12,14297**	41,4541**	78,0598**	215,8716**	310,1425**	194,2482**	236,5605**	180,7912**
Blocos	3	0,0062 <sup>ns</sup>	0,0240 <sup>ns</sup>	0,0821 <sup>ns</sup>	0,2225 <sup>ns</sup>	0,9282 <sup>ns</sup>	0,541510 <sup>ns</sup>	1,1127 <sup>ns</sup>	1,2080 <sup>ns</sup>	1,2728 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,0072	0,0113	0,0385	0,2997	1,4538	0,5148	0,9824	1,0895	1,1128
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	3,6788**	18,0721**	61,6994**	69,8444**	54,5177**	43,1102**	20,9790**	16,4996**	7,4209*
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	1,3065**	6,2941**	21,4807**	23,0860**	14,8840**	10,4676**	3,5952 <sup>ns</sup>	0,8931 <sup>ns</sup>	0,1370 <sup>ns</sup>
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	0,1365**	0,5854**	1,9970**	1,5718*	0,1104 <sup>ns</sup>	0,0088 <sup>ns</sup>	0,6188 <sup>ns</sup>	4,7109 <sup>ns</sup>	12,0025**
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	0,0711**	0,4086**	1,3961**	3,6599**	8,2296*	9,8280**	10,1362**	24,9748**	36,9929**
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	1,7372**	7,7914**	26,5976**	98,1120**	492,2267**	789,1173**	518,7743**	676,6049**	552,4820**
CV(%)		5,05	2,83	2,83	6,75	12,96	7,53	13,17	12,43	13,64
		Médias (mm dia <sup>-1</sup> )								
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		0,5470	1,2330	2,2770	2,5120	2,4930	2,3540	1,8970	2,2030	2,1880
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		1,0950	2,4650	4,5540	5,0240	4,9860	4,7090	3,7950	4,4070	4,3760
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		1,6420	3,6980	6,8320	7,5350	7,4790	7,0630	5,6920	6,6100	6,5640
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		2,0917	4,6910	8,6667	9,7742	9,7425	9,2135	7,3870	8,6090	8,4150
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		2,8352	6,2127	11,4780	15,4255	23,4020	26,8602	21,2412	23,4682	20,7347
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		1,9032	4,2390	7,8312	8,4215	7,7140	6,9967	5,1357	5,0752	4,1142

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

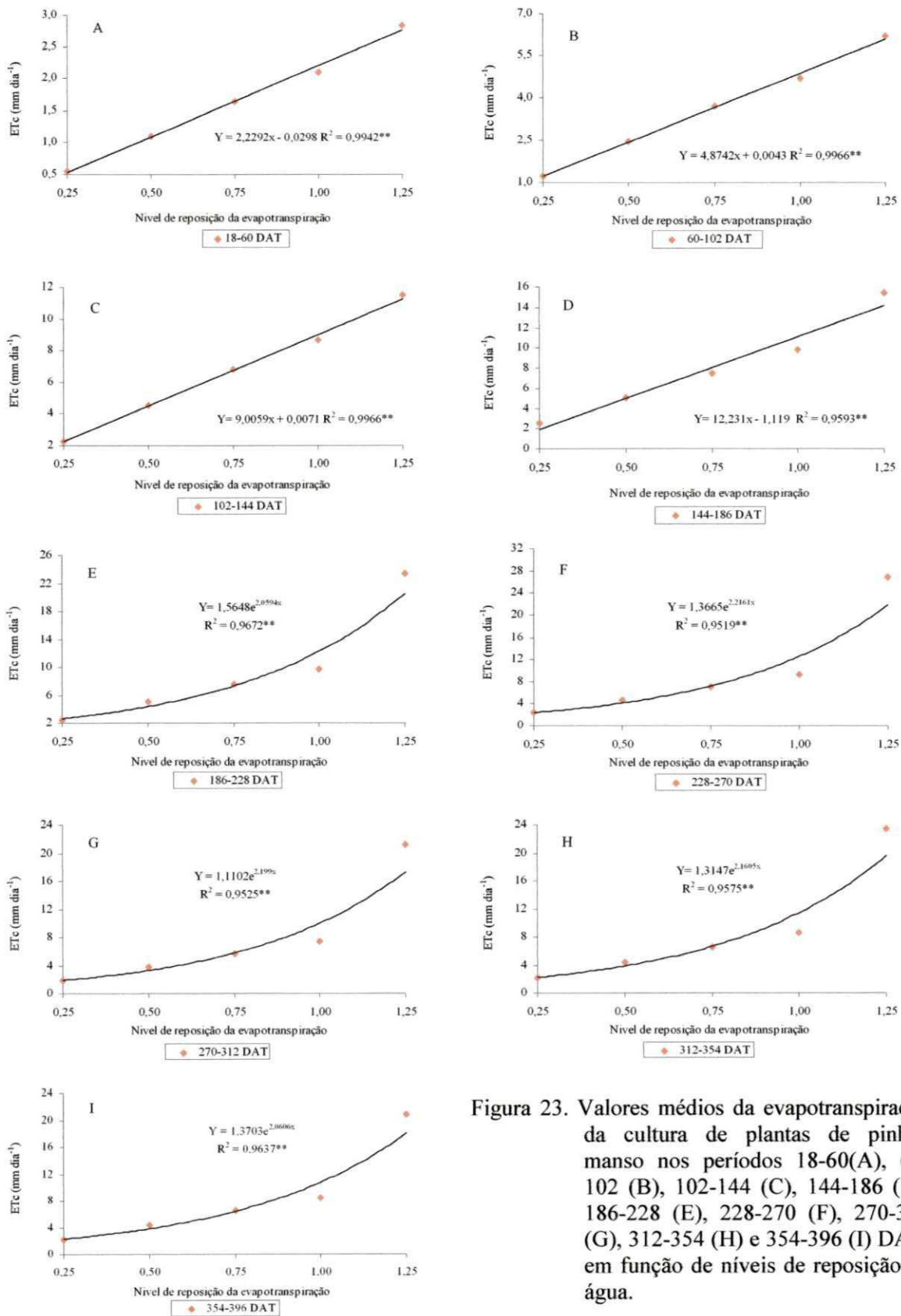


Figura 23. Valores médios da evapotranspiração da cultura de plantas de pinhão manso nos períodos 18-60(A), 60-102 (B), 102-144 (C), 144-186 (D), 186-228 (E), 228-270 (F), 270-312 (G), 312-354 (H) e 354-396 (I) DAT, em função de níveis de reposição de água.



#### 5.4.2. Consumo de Água (C.A.)

Os dados das análises de regressão para o consumo de água das plantas de pinhão manso (Tabela 33) foram obtidos através de balanço hídrico. Verificaram-se efeitos lineares crescentes ( $p < 0,01$ ), no consumo de água com o incremento do nível de reposição da evapotranspiração, Figuras 24 A, B, C e D. Com base nos modelos lineares para cada período, obteve-se um aumento no consumo de água de 0,49, 1,08, 1,39 e 2,71 litros, por cada centésimo de incremento da evapotranspiração. Em relação aos dados obtidos nos períodos 186-228 (Figura 24 E), 228-270 (Figura 24 F), 270-312 (Figura 24 G), 312-354 (Figura 24 H) e 354-396 DAT (Figura 24 I), apresentaram melhor ajuste ao modelo exponencial, e o incremento no consumo de água pelas plantas entre os tratamentos  $Nr_1$  e  $Nr_5$ , foi de 684,21, 817,06, 801,42, 767,46 e 685,07%, respectivamente.

De acordo com os dados da análise de variância (Tabela 34) houve influência significativa dos tratamentos, nos contrastes entre 0,25, 1,00 e 1,25 da  $ET_c$  versus o tratamento testemunha, em todos os períodos estudados. No contraste entre 0,50 da  $ET_c$  versus o tratamento testemunha, foram constatadas diferenças significativas até 270 DAT. Enquanto para o contraste entre 0,75 da  $ET_c$  versus testemunha a influência dos tratamentos de 'Nr' aconteceu até o período 144-186 DAT, e no último período (354-396 DAT).

O consumo de água aumentou com a idade das plantas. No primeiro período, no tratamento  $Nr_1$ , o consumo atingiu em média 12,15 litros, comparado a 62,92 litros consumidos em  $Nr_5$ . Já no último período, o volume de água consumido pelas plantas foi de 48,56 litros ( $Nr_1$ ) e 460,16 litros ( $Nr_5$ ). Este resultado está diretamente relacionado com o crescimento das plantas no decorrer do tempo, aumentando a altura, o diâmetro, o número de folhas e a área foliar. Lacerda (2006), estudando a cultivar BRS Paraguaçu em condições de estresse hídrico e dois níveis de matéria orgânica (5,0 e 25,0 g  $kg^{-1}$ ), verificou que as plantas cultivadas em substrato mais rico em matéria orgânica consumiram maior volume de água em razão da maior produção de biomassa.

Considerando que o pinhão manso é uma espécie caducifólia e que, em alguns períodos da pesquisa, houve queda intensiva de folhas das plantas, em algumas épocas o C.A. diminuiu, como por exemplo, a partir dos 270 DAT ocorreu redução nessa variável, conforme Tabela 34 e Figura 24.

Em pesquisa realizada com a cultura da mamona irrigada com água de abastecimento, sem fertilizantes, foi observado nas plantas um crescimento lento, que não atingiu a floração,



e o consumo total de água foi baixo (45 litros), enquanto aquelas irrigadas com água residuária chegaram a consumir cerca de 466 litros em 135 dias, devido ao maior crescimento e desenvolvimento das plantas (XAVIER, 2007). Nesta pesquisa, também ficou constatado nas plantas dos tratamentos com 1,00 e 1,25 da evapotranspiração, irrigadas com água residuária, maior consumo hídrico, em relação às plantas do tratamento testemunha, isso devido ao maior crescimento/desenvolvimento ocorrido.

Cavalcanti et al. (2005) verificaram que a cada incremento unitário da CEa, a mamoneira diminuiu o seu consumo em 1,90 L, até os 80 dias após a germinação. Nery (2008) avaliando o pinhão manso irrigado com águas salinas, observou no período 58-79 DAS redução de 1,05 L por unidade CEa, denotando menor sensibilidade do pinhão manso em relação à mamoneira.

Tabela 33. Resumos das análises de regressão para o consumo de água (C.A.) em litros, das plantas de pinhão manso nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 dias após o transplântio.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios								
		18 -60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144 -186 DAT	186 -228 DAT	228 -270 DAT	270 -312 DAT	312 -354 DAT	354 -396 DAT
Nível de Reposição (Nr)	4	1538.5177**	7339.6311**	12191.7170**	48005.8087**	131415.6148**	187138.4843**	116214.8235**	139122.4835**	103569.3074**
Regressão Linear	1	6118.1033**	29258.7950**	48652.2292**	184211.5347**	-	-	-	-	-
Regr. Quadrática	1	12,1943 <sup>ns</sup>	16,1830 <sup>ns</sup>	5,5007 <sup>ns</sup>	5076.6924**	-	-	-	-	-
Regr. cúbica	1	17,0211 <sup>ns</sup>	55,0114*	55,9181 <sup>ns</sup>	2294,0586**	-	-	-	-	-
Regressão 4º grau	1	6,7521 <sup>ns</sup>	28,5346 <sup>ns</sup>	53,2199 <sup>ns</sup>	440,9493 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-
Exponencial (X)	1	-	-	-	-	516101,7494**	733487,4373**	455534,5404**	546202,5128**	406306,9049**
Blocos	3	4,2861 <sup>ns</sup>	12,8953 <sup>ns</sup>	107,9219 <sup>ns</sup>	123,3505 <sup>ns</sup>	554,4454 <sup>ns</sup>	321,5240 <sup>ns</sup>	649,2736 <sup>ns</sup>	715,8397 <sup>ns</sup>	754,9260 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	3,614411	6,5997	64,6191	180,6371	870,5669	303,1795	579,3325	640,5518	653,0129
CV(%)		5,22	3,16	7,42	7,52	13,82	7,81	13,55	12,59	13,62

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 34. Resumos das análises de variância e médias do consumo de água (C.A.), das plantas de pinhão manso nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 144-186, 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 DAT.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios								
		18 -60 DAT	60-102 DAT	102-144 DAT	144 -186 DAT	186 -228 DAT	228 -270 DAT	270 -312 DAT	312 -354 DAT	354 -396 DAT
Tratamentos	5	1253,1342**	5981,7908**	10010,2361**	38448,9547**	106326,0174**	152751,8705**	95670,2034**	116509,6561**	89043,5311**
Blocos	3	3,0764 <sup>ns</sup>	11,8326 <sup>ns</sup>	84,5291 <sup>ns</sup>	109,6069 <sup>ns</sup>	457,0460 <sup>ns</sup>	266,7614 <sup>ns</sup>	548,0017 <sup>ns</sup>	594,9257 <sup>ns</sup>	626,8336 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	3,5538	5,5541	57,2000	147,5712	715,9778	253,5006	483,7473	536,6414	548,1037
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	1810,1844**	8903,1168**	16472,3048**	34401,9565**	26851,1344**	21228,8164**	10330,8094**	8125,5115**	3655,2532*
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	643,4540**	3099,2064**	5739,5434**	11373,1854**	7330,8491**	5156,2520**	1771,6426 <sup>ns</sup>	440,5551 <sup>ns</sup>	67,4483 <sup>ns</sup>
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	66,9961**	288,4802**	537,0184**	773,4638*	54,4498 <sup>ns</sup>	4,3498 <sup>ns</sup>	304,8598 <sup>ns</sup>	2319,5201 <sup>ns</sup>	5911,3783**
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	35,0912**	201,4225**	262,2737*	1802,7310**	4053,3307*	4840,2960**	4992,6027**	12299,9417**	18218,1598**
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	856,1108**	3838,3255**	5225,2309**	48324,8970**	242444,3496**	388663,5003**	255504,9038**	333234,4785**	272107,6532**
CV(%)		5,04	2,83	6,78	6,74	12,96	7,53	13,17	12,43	13,64
Tratamentos		Médias (L)								
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		12,1480	27,3550	37,1840	55,7440	55,3250	52,2500	42,1080	48,8970	48,5580
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		24,2960	54,7100	74,3670	111,4870	110,6510	104,5010	84,2160	97,7950	97,1160
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		36,4450	82,0650	111,5510	167,2310	165,9760	156,7510	126,3250	146,6920	145,6750
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		46,4215	104,1105	139,3887	216,9192	216,2122	204,4712	163,9417	191,0585	186,7502
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		62,9222	137,8832	179,0510	342,3392	519,3635	596,1070	471,4035	520,8245	460,1635
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		42,2327	94,0750	127,9372	186,8965	171,1937	155,2762	113,9787	112,6367	91,3087

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

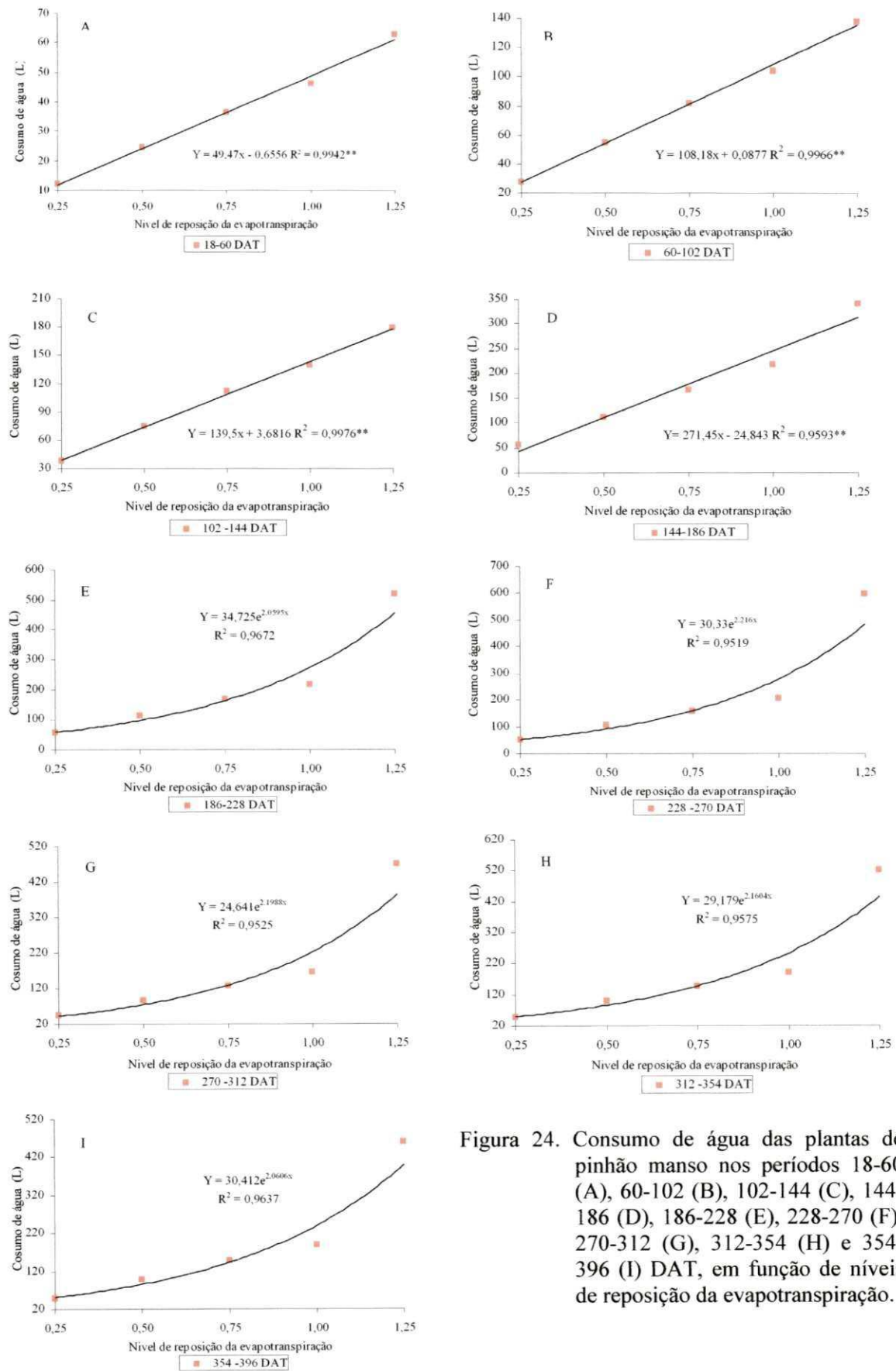


Figura 24. Consumo de água das plantas de pinhão manso nos períodos 18-60 (A), 60-102 (B), 102-144 (C), 144-186 (D), 186-228 (E), 228-270 (F), 270-312 (G), 312-354 (H) e 354-396 (I) DAT, em função de níveis de reposição da evapotranspiração.

### 5.4.3. Consumo Total de Água (C.T.A.), Evapotranspiração Total da Cultura (ETc Total) e Evapotranspiração Média (ETc média)

Os resumos das análises de regressão das variáveis C.T.A., ETc total e ETc média, estão contidos na Tabela 35. Essas variáveis foram influenciadas pelos níveis de reposição da evapotranspiração, ao nível de 0,01 de probabilidade, com melhor ajuste ao modelo polinomial quadrático (Figuras 25 A, B e C). Com a aplicação das equações matemáticas foram calculados os incrementos entre os tratamentos com 0,25 e 1,25 da ETc de 516,39% sobre o C.T.A., a ETc total e para a ETc média das plantas ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) o acréscimo obtido entre esses tratamentos foi de 514,01%.

Nas análises de variância para essas variáveis, houve efeitos significativos dos tratamentos ( $p < 0,01$ ), conforme Tabela 36. Analisando-se os contrastes realizados entre o consumo total de água, a evapotranspiração total da cultura e a evapotranspiração média *versus* o tratamento testemunha, (Tabela 36), verificam-se efeitos dos tratamentos em todas essas variáveis, nas condições de 0,25, 0,50, 1,00 e 1,25 da ETc *versus* testemunha.

Nas plantas que receberam 0,75 da ETc *versus* a testemunha, não foi observado efeito significativo dos tratamentos para o C.T.A., a ETc total e a ETc média. Apesar da condição de estresse hídrico a que foram submetidas essas plantas, acredita-se que houve uma compensação devido os nutrientes contidos na água de irrigação. Nesse mesmo tratamento (0,75 da ETc), o C.T.A. foi de 1138,71 litros, enquanto nas plantas do tratamento testemunha, foi de 1095,54 litros, durante o experimento. Para a ETc média, o comportamento foi semelhante, as plantas evapotranspiraram  $5,9 \text{ mm dia}^{-1}$  (0,75 da ETc). Nas plantas do tratamento testemunha essa taxa atingiu  $5,7 \text{ mm dia}^{-1}$ , (Tabela 36).

Rodrigues (2008) verificou decréscimo de 43,10% sobre o C.T.A., ETc total e ETc média das plantas de pinhão manso irrigadas com água de  $3,00 \text{ dS m}^{-1}$  em relação àquelas irrigadas com água de  $0,60 \text{ dS m}^{-1}$ , efeito que corresponde a uma redução de aproximadamente 18,0% para cada incremento na unidade de condutividade elétrica.

A redução do consumo de água também está correlacionada ao decréscimo do número de folhas e da área foliar das plantas, variáveis afetadas pelo estresse hídrico.

Tabela 35. Resumos das análises de regressão para o consumo total de água (C.T.A.), evapotranspiração total da cultura (ETc Total), evapotranspiração média (ETc média) do pinhão manso durante o período de 18 e 396 DAT.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		C.T.A. (L)	ETc Total (mm)	ETc média (mm dia <sup>-1</sup> )
<b>Nível de reposição (Nr)</b>	4	5097098,4977**	18255656,4045**	133,0447**
Regressão Linear	1	17062159,1328**	61109459,1707**	447,7149**
Regressão Quadrática	1	2293792,7323**	8215396,7461**	58,2399**
Regressão cúbica	1	888300,7691**	3181515,5642*	22,5585**
Regressão 4º grau	1	144141,3565**	516254,1371**	3,6656**
<b>Blocos</b>	3	13059,8234 <sup>ns</sup>	46774,7574 <sup>ns</sup>	0,3199 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	12	13908,3052	49813,5719	0,356421
<b>CV (%)</b>		8,38	8,38	8,23

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 36. Resumos das análises de variância e médias do consumo total de água (C.T.A.), evapotranspiração total da cultura (ETc Total), evapotranspiração média (ETc média) do pinhão manso entre 18 e 396 DAT.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		C.T.A.	ETc Total	ETc média
<b>Tratamentos</b>	5	4142497,8402**	14836679,8266**	108,0176**
<b>Blocos</b>	3	10745,8548 <sup>ns</sup>	38487,1455 <sup>ns</sup>	0,2648 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	15	11590,7167	41512,9596	0,2962
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	1025213,1944**	3671879,2720**	28,0913**
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	226323,8648**	810596,7871**	6,3421**
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	3728,0749 <sup>ns</sup>	13352,5579 <sup>ns</sup>	0,0701 <sup>ns</sup>
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	279361,6802**	1000557,1895**	7,2695**
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	9631855,8115**	34497247,5478**	248,0433**
<b>CV (%)</b>	-	7,94	7,94	7,78
<b>Tratamentos</b>		<b>Médias</b>		
		<b>L</b>	<b>mm</b>	<b>mm dia<sup>-1</sup></b>
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		379,5700	718,3380	1,9670
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		759,1400	1436,6760	3,9340
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		1138,7100	2155,0150	5,9020
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		1469,2745	2780,6102	7,6212
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		3290,0577	6226,4527	16,8512
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		1095,5355	2073,3065	5,7147

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

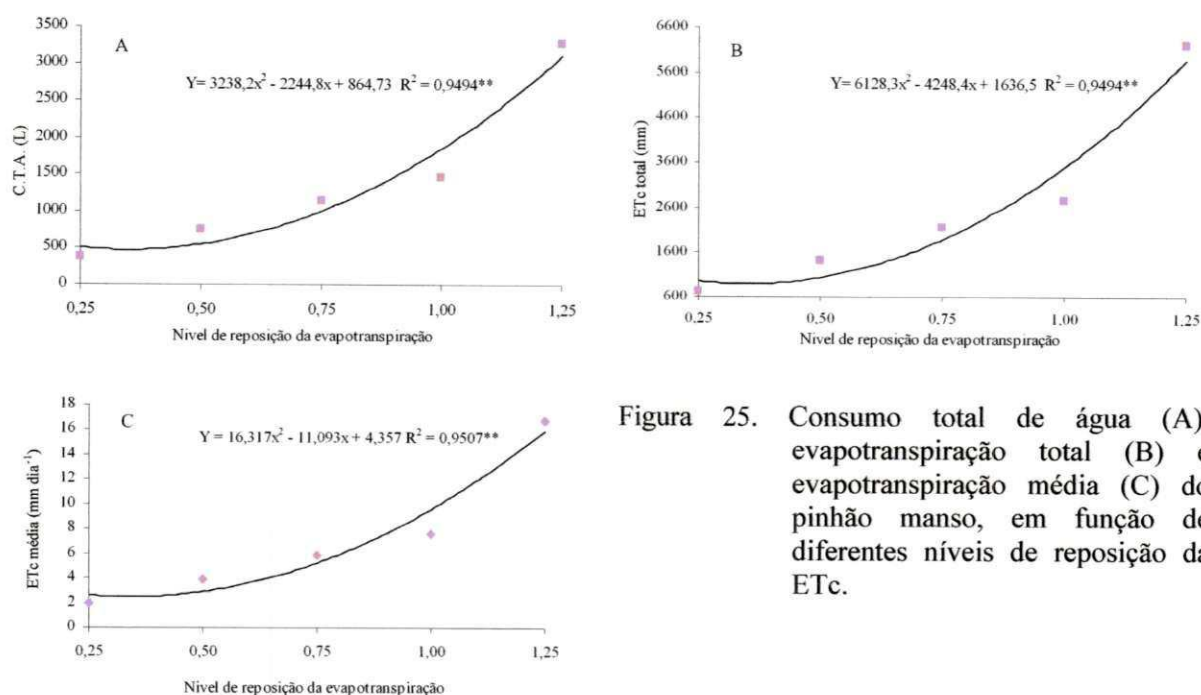


Figura 25. Consumo total de água (A), evapotranspiração total (B) e evapotranspiração média (C) do pinhão manso, em função de diferentes níveis de reposição da ETc.

#### 5.4.4. Coeficiente de Cultivo (Kc)

Os valores dos coeficientes de cultivo do pinhão manso, para a condição de 100% de reposição da evapotranspiração com água residuária, estão contidos na Tabela 37 e Figura 26. Foram determinados valores de Kc considerados elevados, principalmente devido à elevada demanda climática no interior da casa de vegetação, resultando em uma evapotranspiração da cultura - ETc acentuada, bem como, devido à área de exposição do lisímetro que mediu apenas 0,2642 m<sup>2</sup>.

Foram determinados os Kc pelos métodos de Penman-Monteith e Samani-Hargreaves, considerando as temperaturas do ambiente interno e externo, para estimar a evapotranspiração de referência (ETo). Nos dois métodos, foram verificados valores de Kc superestimados quando se utilizaram as temperaturas externas da casa de vegetação. Entretanto, os menores valores de Kc foram encontrados com as temperaturas do interior do ambiente protegido, devido à estimativa de maiores valores de ETo. Analisando-se os resultados dos coeficientes de cultivo nas quatro situações, o melhor Kc médio foi obtido com a aplicação do método de Penman-Monteith, com os dados internos, alcançando um valor de 2,17, (Tabela 37).

De maneira similar a esta pesquisa, Rodrigues (2008), estudando o comportamento da mamona em ambiente protegido, verificou que o método de Samani-Hargreaves subestima a evapotranspiração de referência, resultando em Kc elevado. Cavalcanti (2007) observou que o

Tanque Classe “A”, instalado no ambiente protegido onde se conduziu esta pesquisa, subestima ainda mais a ETo.

Nery (2008) observou no pinhão manso irrigado com águas salinas, nas mesmas condições dessa pesquisa, em plantas irrigadas com água de  $CE_{ai} = 0,60 \text{ dS m}^{-1}$  (tratamento também dessa pesquisa - testemunha), valores de Kc de 2,05 e 3,01, pelo método de Penman-Monteith e de 2,15 e 3,22 por Samani-Hargreaves, respectivamente, com as temperaturas internas e externas do ambiente protegido, aos 150 dias após a semeadura (131 DAT).

Houve tendências de aumento do coeficiente de cultivo do pinhão manso no decorrer do período experimental, ou seja, com o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Figura 26). Pode-se verificar que os maiores valores de Kc foram determinados no período em que as plantas atingiram a maior área foliar, conseqüentemente, maior consumo de água (Tabela 37).

À semelhança dos resultados de Kc obtidos por Rodrigues (2008) para a mamoneira e Nery (2008) para o pinhão manso, os valores de Kc médio do pinhão manso encontrados nessa pesquisa, utilizando-se diferentes métodos de determinação e temperaturas (internas e externas) do ambiente protegido, foram acima dos padrões (Tabela 37 e Figura 26). Dessa forma, não se recomenda a utilização desses resultados em futuras pesquisas com a cultura do pinhão manso.

Tabela 37. Valores do coeficiente de cultivo (Kc) do pinhão manso irrigado com água residuária, calculados por dois métodos, considerando dados de temperatura no ambiente interno e externo de realização da pesquisa, em função de 100% de reposição da evapotranspiração.

Períodos DAT	Método de Penman-Monteith		Método de Samani-Hargreaves	
	Temperaturas do ambiente interno	Temperaturas do ambiente externo	Temperaturas do ambiente interno	Temperaturas do ambiente externo
18-60	0,83	1,26	0,83	1,29
60-102	1,78	<b>2,83</b>	1,79	3,00
102-144	2,18	<b>3,31</b>	2,19	3,39
144-186	2,74	<b>3,83</b>	2,86	4,09
186-228	2,45	<b>3,69</b>	2,69	3,69
228-270	2,37	<b>3,77</b>	2,51	3,61
270-312	1,94	<b>2,77</b>	2,08	2,80
312-354	2,50	<b>4,05</b>	2,43	3,93
354-396	2,77	4,23	2,93	4,65
Média	2,17	3,30	2,26	3,38



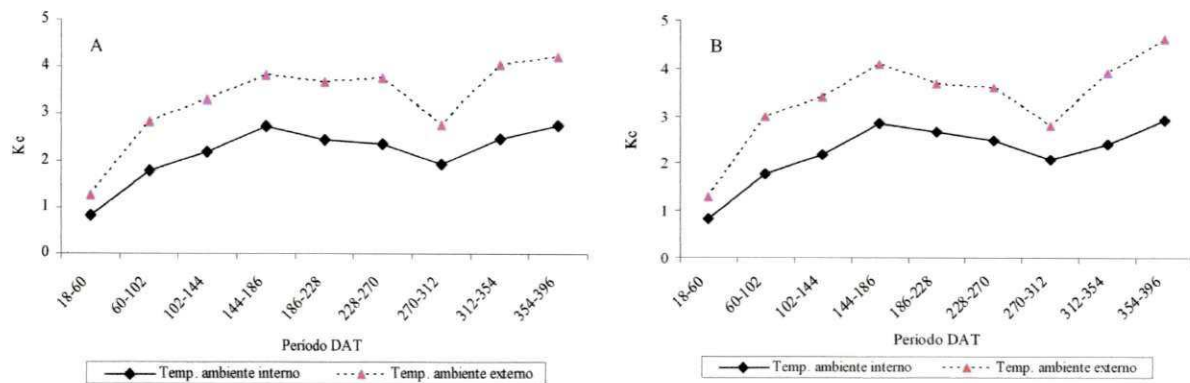


Figura 26. Coeficiente de cultivo do pinhão manso, pelo método de Penman-Monteith (A) e Samani-Hargreaves (B), utilizando as temperaturas internas e externas da casa de vegetação, para o tratamento com 1,00 da ETc.

#### 5.4.5. Eficiência de Uso da Água (E.U.A.)

Na Tabela 38 estão apresentados os resultados da análise de regressão para a eficiência de uso de água das plantas de pinhão manso. Observa-se que a E.U.A. foi significativamente influenciada pelos níveis de reposição da evapotranspiração, com incremento linear, (Figura 27).

O aumento da disponibilidade de água no solo ocasionou maior eficiência de uso da água pelas plantas de pinhão manso, resultando em maior produção, nos tratamentos com maior 'Nr' da evapotranspiração, (Tabela 39 e Figura 27). Para cada centésimo de incremento da evapotranspiração aplicado ao solo, a E.U.A. das plantas de pinhão manso aumentou 0,0025 kg m<sup>-3</sup> ou 1,85 %. De acordo com Kramer e Boyer (1995), normalmente o aumento da temperatura e da demanda evaporativa do ar reduz a E.U.A. De maneira oposta, o aumento da umidade do relativa aumenta a eficiência de uso da água.

A eficiência de uso da água média, nos tratamentos irrigados com água residuária foi de 0,33 kg m<sup>-3</sup>; resultado semelhante foi encontrado por Rodrigues (2008), para a mamoneira irrigada com água residuária (E.U.A.= 0,34 kg m<sup>-3</sup>). O mesmo autor considera essa E.U.A. baixa e ressalta que a produção de bagas também foi baixa, visto que não foram realizadas adubações de cobertura e o aporte de nutrientes da água residuária não foi suficiente para se obter melhores rendimentos, portanto, nas irrigações com esgoto doméstico faz-se necessário a adubação mineral, visando melhorar os rendimentos e aumentar a eficiência de uso de água. Lacerda (2006) e Barros Júnior (2007), em estudos com a cultura da mamona, também observaram aumento linear da eficiência de uso da água das plantas, resultante do incremento da disponibilidade de água no solo.



Analisando-se os resultados da análise de variância (contrastes), Tabela 39, nota-se efeito altamente significativo dos níveis de reposição da evapotranspiração. De acordo com as médias contidas na Tabela 39 e Figura 27, apenas no contraste entre 0,25 da ETc *versus* a testemunha não se evidenciou diferença significativa entre os tratamentos; a eficiência de uso da água das plantas que receberam 0,25 da ETc foi próxima a do tratamento testemunha, entretanto, nos demais tratamentos (0,50, 0,75, 1,00 e 1,25 da ETc), essa variável foi maior.

Tabela 38. Resumos das análises de regressão para a eficiência de uso de água do pinhão manso.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios
<b>Nível de reposição (Nr)</b>	4	0,0462**
Regressão Linear	1	0,1604**
Regressão Quadrática	1	0,0027 <sup>ns</sup>
Regressão cúbica	1	0,0007 <sup>ns</sup>
Regressão 4º grau	1	0,0210*
<b>Blocos</b>	3	0,0086*
<b>Resíduo</b>	12	0,0023
<b>CV (%)</b>	-	14,81

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 39. Resumos das análises de variância e médias da eficiência de uso de água do pinhão manso.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios
<b>Tratamentos</b>	5	0,0516 **
<b>Blocos</b>	3	0,0089*
<b>Resíduo</b>	15	0,0020
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	0,0010 <sup>ns</sup>
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	0,0293**
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	0,0135*
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	0,1065**
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	0,1619**
<b>CV (%)</b>	-	15,00
<b>Tratamentos</b>		<b>Médias (kg m<sup>-3</sup>)</b>
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		0,1997
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		0,2980
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		0,2592
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		0,4077
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		0,4615
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		0,1770

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

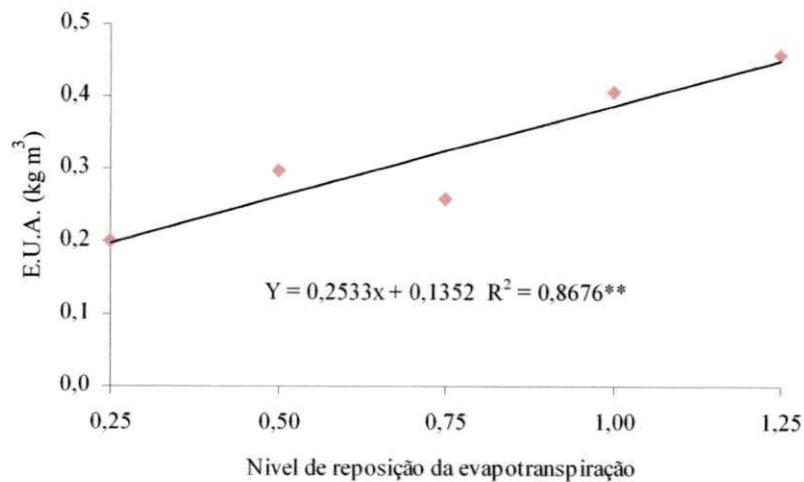


Figura 27. Eficiência de uso da água do pinhão manso irrigado com água residuária, sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.

### 5.5. Fertilidade do Solo ao Final do Experimento nas Profundidades de 0-10 e 10-20 cm

Os vegetais necessitam basicamente de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, água, minerais, luz e temperatura para se desenvolver, produzir e se multiplicar. Quando da ausência de algum elemento, a planta não completa seu ciclo de vida, ou quando determinado elemento faz parte de alguma substância ou reação bioquímica essencial para a vida do vegetal, o mesmo pode ser considerado essencial ou indispensável à planta (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

Aos 396 dias após o transplântio foi realizada a análise da fertilidade do solo, em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm), com o objetivo de se avaliar os impactos causados pela aplicação de água residuária no solo. Antes do início da aplicação dos tratamentos foi feita uma análise do solo, conforme os resultados da Tabela 3. Pode ser observado também na Tabela 6, a média das concentrações dos nutrientes presentes na água residuária utilizada para as irrigações.

Na Tabela 40, estão os resumos das análises de regressão dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e Na, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm ao final do experimento. Nas concentrações de K, Ca, Mg e Na, verificam-se efeitos significativos da aplicação de água residuária no solo, sob níveis de reposição da evapotranspiração, nas duas profundidades, não havendo efeito sobre a concentração de N. Quanto ao elemento fósforo, apenas na profundidade de 0-10 cm não houve influência da aplicação dos tratamentos. Para Hespanhol (2002), a irrigação com efluentes de esgoto pode suprir, em parte, as quantidades de certos elementos, principalmente

nitrogênio, fósforo e potássio, requeridos pelas culturas, chegando a aumentar a produtividade agrícola.

A irrigação com água residuária provoca aumento na matéria orgânica do solo em 36% em relação à água de abastecimento. Um nível adequado de matéria orgânica é benéfico ao solo pois melhora as condições físicas, aumenta a retenção de água, diminui as perdas por erosão e fornece nutrientes às plantas (NASCIMENTO, 2003).

### 5.5.1. Nitrogênio Orgânico no Solo

O nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos, quantitativamente, pela maioria das plantas. Atua em todas suas fases, quais sejam, crescimento, floração e frutificação. As plantas absorvem o N em suas formas iônicas,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ . A deficiência de nitrogênio, promove aumento do sistema radicular, amarelecimento e queda das folhas.

Pelos resultados da análise de regressão (Tabela 40), nota-se que os níveis crescentes de reposição da evapotranspiração com efluente de esgoto não tratado não ocasionaram efeitos significativos na quantidade de nitrogênio presente no solo. Comparando os resultados das concentrações de nitrogênio nas duas profundidades estudadas, observam-se que quanto mais próximo da superfície do solo, maior foi a concentração de N encontrada; na profundidade de 0-10 cm os valores variaram de 0,023% a 0,040%, enquanto que na camada de 10-20 cm, foram obtidos teores de 0,007% a 0,017% de N, respectivamente, para os tratamentos  $\text{Nr}_1$  e  $\text{Nr}_5$ , Tabela 40 e Figura 28 A e B.

Laviola e Dias (2008) constataram que o nitrogênio foi o nutriente requerido em maior quantidade para formação das folhas, bem como para suprir as demandas metabólicas dos frutos em pinhão manso. Essa cultura possui alta taxa de crescimento, sendo o N essencial para a assimilação do C e formação de novos órgãos na planta.

De acordo com a análise de variância Tabela 41, os níveis de reposição da evapotranspiração, utilizando água residuária, resultaram em diferenças significativas ( $p < 0,01$ ), sobre a concentração de nitrogênio na camada de 0-10 cm do solo. Os valores das concentrações de nitrogênio dos tratamentos de irrigação com água residuária foram contrastados com os resultados do tratamento testemunha; na camada de 0-10 cm de profundidade, foram verificadas diferenças significativas entre os contrastes de 0,25 e 0,75 da  $\text{ETc}$  versus o tratamento testemunha, já na profundidade de 10- 20 cm, houve apenas neste último contraste (0,75 da  $\text{ETc}$ ). A concentração desse elemento no solo de cultivo das plantas do tratamento testemunha foi menor que as concentrações dos solos irrigados com água

acumulado pela planta. À medida que a planta cresce, a área de exploração do sistema radicular se expande e a eficiência de recuperação de P no solo aumenta (PREZOTTI, 2001).

Baseando-se nos resultados da análise de variância (Tabela 41), observa-se que a aplicação de água residuária ao solo, em diversos níveis de reposição da ETc, ocasionou diferenças significativas sobre a concentração de fósforo no solo, nas duas profundidades, no final do experimento.

Conforme a análise de variância (Tabela 41), na camada de 0-10 cm do solo, houve diferenças significativas apenas no contraste entre 0,75 da ETc *versus* o tratamento testemunha. Entretanto, na camada de 10-20 cm de profundidade a influência dos tratamentos ocorreram em quase todos os contrastes, exceto para 1,25 *versus* o tratamento testemunha. A concentração final de P (5,75 mg/100g) determinada no solo de cultivo das plantas do tratamento testemunha, possivelmente foi devido a adubação de plantio, em que adicionou-se 300 mg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, conforme recomendação de Novais et al. (1991).

Lucena et al. (2006), ao compararem o uso de efluente de esgoto tratado com o uso da água de abastecimento, observaram que as propriedades químicas do Neossolo Quartzarênico, melhoraram quanto ao teor de P e matéria orgânica do solo.

### 5.5.3. Potássio Extraível no Solo

O potássio é um dos macronutrientes mais consumidos pelas plantas, juntamente com o nitrogênio. Favorece a formação de raízes e amadurecimento dos frutos. Diferentemente do N e P, houve efeito significativo da água residuária aplicada sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração sobre a concentração de K<sup>+</sup>, ao nível de 0,05 de probabilidade na profundidade de 0-10 cm e de 0,01 de probabilidade na profundidade de 10-20 cm, pelo teste F (Tabela 40), resultando em redução linear (Figuras 28 E e F).

Verificou-se, para as duas profundidades, que os níveis crescentes de reposição da evapotranspiração, causaram diminuição no conteúdo de potássio extraível no solo. Na camada de 0-10 cm houve variação de 4,12 mmolc L<sup>-1</sup> a 0,39 mmolc L<sup>-1</sup>, e, na segunda camada, variou de 4,88 mmolc L<sup>-1</sup> a 0,00 mmolc L<sup>-1</sup>, respectivamente, para os tratamentos 0,25 e 1,25 da ETc (Tabela 41 e Figuras 28 E e F). Essa redução com o aumento do volume de água aplicado pode ser atribuída à lixiviação. Mesmo nos tratamentos sob condições de déficit hídrico, pode ter ocorrido lixiviação desse elemento para as camadas mais profundas do solo. O teor médio desse elemento na água residuária foi de 26,23 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 6). Rodrigues (2008) também observou diminuição no conteúdo de potássio extraível no solo de

23,51% entre os tratamentos de maior e menor nível de reposição da evapotranspiração. Para Feigin et al. (1991), a irrigação com efluente não satisfaz as necessidades das culturas em K, porém, pode promover o aumento dos teores no solo.

As maiores concentrações de potássio no solo foram determinadas nas condições mais severas de deficiência hídrica (0,25 e 0,50 da ETc), resultando em efeito significativo entre os tratamentos. Na camada de 0-10 cm, os tratamentos 0,75, 1,00 e 1,25 da ETc *versus* o tratamento testemunha, não variaram estatisticamente; nessas condições, o volume de água aplicado foi maior, e nos dois últimos tratamentos (1,00 e 1,25 da ETc) houve drenagem, portanto, menor concentração de  $K^+$  no perfil do solo, (Tabela 41). Na profundidade de 10-20 cm, houve efeito significativo dos tratamentos para 0,25, 0,50 e 1,00 da ETc *versus* a testemunha (Tabela 41). O teor de potássio observado no solo do tratamento testemunha, se deve principalmente as adubações periódicas com KCl, aumentando com a profundidade do solo, (Tabela 41).

A variação média do teor de K, nos solos irrigados com água residuária atingiu valores em torno de 1,9 e 2,1  $mmol_c L^{-1}$ , respectivamente, para 0-10 e 10-20 cm de profundidade.

#### 5.5.4. Cálcio e Magnésio Extraíveis no Solo

Analisando-se os dados da análise de regressão (Tabela 40), verificam-se efeitos significativos da aplicação de água residuária no solo, em diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, sobre as concentrações de cálcio e magnésio, ao nível de 0,01 de probabilidade (Tabela 40), nas duas profundidades.

À semelhança do elemento  $K^+$ , para o cálcio e o magnésio houve tendências de redução na quantidade desses elementos, com o incremento dos níveis de reposição da evapotranspiração (Tabela 41 e Figuras 29 A, B, C e D). Os valores da concentração de  $Ca^{+2}$ , foram mais bem ajustados ao modelo polinomial quadrático (0-10 e 10-20 cm), com tendência decrescente, já para os teores de  $Mg^{+2}$ , na profundidade de 0-10 cm, ocorreu efeito linear decrescente, e na profundidade 10-20 cm, polinomial quadrático.

De acordo com as Figuras 29 A e B (0-10 e 10-20 cm), ocorreram acréscimos de 297,53 e 660,27% no teor de cálcio do solo irrigado com 1,25 da ETc em relação àquele do solo que recebeu 0,25 da ETc. Rodrigues (2008) obteve acréscimos sucessivos de 7,20 e 32,18 % nas concentrações de  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  no solo que recebeu 1,20 da ETc comparadas àquelas do solo submetido a 0,60 da ETc. A água residuária utilizada nas irrigações continha, em sua composição, concentração média de 54,68  $mg L^{-1}$  de cálcio e 44,57  $mg L^{-1}$  de



magnésio (Tabela 6). Considerando esse aporte de nutrientes contido na água, justifica-se a expressiva melhoria na fertilidade do solo. Conforme Medeiros et al. (2005), a água residuária pode ser uma alternativa de suprimento de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  ao solo, em substituição às fontes tradicionais de calcário.

A concentração média de cálcio aumentou de 8,56 para 12,21  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , respectivamente, nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, com tendências de decréscimos com os níveis sucessivos de reposição da ETc, Tabelas 41 e Figuras 29 A e B. Comportamento semelhante ocorreu com o  $\text{Mg}^{+2}$ , aumentando de 6,97 para 8,43  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , e, tendendo a diminuir com o aumento dos tratamentos de 'Nr' da evapotranspiração, (Figuras 29 C e D).

De acordo com a Tabela 41, nas duas profundidades observam-se efeitos significativos dos tratamentos, sobre as concentrações de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  do solo, nos contrastes de 0,25, 0,50 e 1,00 da ETc irrigado com água residuária *versus* o tratamento testemunha, não ocorrendo em 0,75 (0-10 e 10-20 cm) e 1,25 da ETc (0-10 cm). Nesse último tratamento (1,25 da ETc), foi adicionado ao solo um elevado volume de água, causando lixiviação dos sais e, conseqüentemente, redução nas concentrações desses nutrientes.

O aumento ou diminuição nas concentrações de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  no solo relaciona-se com a quantidade desses nutrientes na água residuária, com a quantidade absorvida pelas plantas e com a lixiviação no perfil do solo. Lucena et al. (2006) notaram que o tratamento com efluente de esgoto não influenciou os valores de cálcio de forma significativa quando comparado com aquele realizado com água de abastecimento.

No tratamento testemunha utilizaram-se dos sais  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  para obter a condutividade elétrica da água de irrigação ( $0,60 \text{ dS m}^{-1}$ ), os íons de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  se encontram na água na proporção 7:2:1. O uso desses sais, possivelmente, contribuiu para o aumento dos teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  no solo em torno de 3,5 e 5,5  $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ , respectivamente; aproximando-se das concentrações encontradas no solo do tratamento com 1,00 da ETc, irrigado com água residuária (Tabela 41).

No início do experimento (após a calagem), o solo continha concentrações de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  de 1,25 e 1,55  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , respectivamente; ao final, a média das concentrações desses elementos no solo irrigado com água residuária foi de 8,56 e 6,97  $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$  ou 0,86 e 0,70  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , respectivamente, na camada superficial do solo. Possivelmente, a diminuição da disponibilidade de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  em relação à condição inicial da pesquisa, ocorreu com a absorção pelas plantas. De acordo com as interpretações de resultados de análise de solo, esses resultados são considerados adequados (LOPES e GUIDOLIN, 1989; EMBRAPA, 1997).

### 5.5.5. Sódio Extraível no Solo

Assim como para os nutrientes cálcio e magnésio, o sódio também foi afetado significativamente pela aplicação de água residuária no solo, em diferentes níveis de reposição da ETc, nas duas profundidades estudadas, (Tabela 40). Maiores concentrações de sódio foram determinadas na camada de 10-20 cm em todos os tratamentos, obtendo-se em média 21,77 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>, e, 15,68 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> na camada superficial. O aumento da umidade do solo, via os níveis de reposição da ETc, contribuiu para a variação da fertilidade do solo, havendo aumento na concentração de Na<sup>+</sup> até a reposição de 0,75 da ETc, seguido de diminuição nos tratamentos com drenagem 1,00 e 1,25 da ETc, possivelmente devido à lixiviação, (Tabelas 41 e Figuras 29 E e F). As concentrações de sódio no solo nas duas profundidades estudadas, não foram afetadas no contraste de 0,75 da ETc *versus* a testemunha, (Tabela 41).

No início do experimento (após a calagem) o solo continha 0,03 cmolc kg<sup>-1</sup> de Na<sup>+</sup>, e no final das avaliações experimentais, a concentração média desse íon no solo irrigado com água residuária foi de 1,57 (0-10 cm) e 2,18 cmolc kg<sup>-1</sup> (10-20 cm); percebe-se aumento bastante expressivo na fertilidade do solo quanto ao teor de sódio; essa melhoria está diretamente relacionada à quantidade desse elemento na água residuária usada na irrigação (121,11 mg L<sup>-1</sup>), (Tabela 6). Lucena et al. (2006) verificaram que o teor do sódio trocável, aumentou nas unidades experimentais que foram irrigadas com efluente de esgoto tratado, atingindo concentração de 193 mg L<sup>-1</sup>. Para esses autores, o fato de não ter havido percolação das unidades experimentais, em virtude da umidade do solo ter sido mantida a 80% da capacidade de campo, também contribuiu para este aumento na concentração.

Altas concentrações de Na<sup>+</sup> acumuladas no perfil do solo, decorrentes da aplicação de água residuária em situações em que não ocorre lixiviação (estresse hídrico), podem ser consideradas um fator limitante devido ao acúmulo progressivo de sódio no perfil do solo. Podem ocasionar deficiências de cálcio e de outros nutrientes, devido ao pH elevado e aos altos teores de bicarbonatos, que limitam a solubilidade de muitos minerais do solo, alterando, portanto, a concentração de nutrientes na solução e, deste modo, sua disponibilidade para as plantas (RHOADES et al., 1992). Nascimento (2003) observou em parcelas irrigadas com água de abastecimento e água residuária acúmulo de 6,84 e 37,65 mmolc L<sup>-1</sup>, respectivamente. Nesse sentido, deve ser dada atenção para a realização de algumas práticas especiais de manejo, como aplicação de lâminas de lixiviação, aplicação de água com baixa concentração de sódio, em determinados períodos, e a suspensão do reuso durante o período



chuvoso. Mesmo com a utilização do cloreto de sódio na água do tratamento testemunha, nessa pesquisa verificou-se um acúmulo de 9,25 (0-10 cm) e 6,25 mmolc L<sup>-1</sup>(10-20 cm), comparado à concentração média de 15,68 (0-10 cm) e 21,77 mmolc L<sup>-1</sup> (10-20 cm) obtida entre os cinco tratamentos com água residuária, (Tabela 41).

Baseando-se no resumo da análise de variância (Tabela 41), houve diferenças significativas na concentração de sódio no solo em decorrência da irrigação com água residuária, com diferentes tratamentos de 'Nr' da evapotranspiração, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Através dos contrastes realizados entre as concentrações de Na<sup>+</sup> do solo irrigado com água residuária com aquelas do tratamento testemunha, observa-se efeitos significativos nos tratamentos 0,25, 0,50, 1,00 e 1,25 da ETc *versus* a testemunha, resultados semelhantes foram verificados para o cálcio e o magnésio.

Tabela 40. Resumos das análises de regressão para N, P, K, Ca, Mg e Na, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, aos 396 DAT.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios											
		N (%)		P (mg/100g)		K (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )		Ca (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )		Mg (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )		Na (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Nível de rep.	4	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	3,2080 <sup>ns</sup>	15,8410 <sup>**</sup>	11,1491 <sup>*</sup>	15,5716 <sup>**</sup>	95,8462 <sup>**</sup>	155,9517 <sup>**</sup>	46,3478 <sup>**</sup>	58,8022 <sup>**</sup>	326,5111 <sup>**</sup>	618,1773 <sup>**</sup>
Regr. Linear	1	0,0006 <sup>*</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	0,1756 <sup>ns</sup>	59,5360 <sup>**</sup>	41,0468 <sup>**</sup>	60,5898 <sup>**</sup>	268,4276 <sup>**</sup>	467,4457 <sup>**</sup>	180,4126 <sup>**</sup>	102,9447 <sup>**</sup>	580,3392 <sup>**</sup>	308,2470 <sup>*</sup>
Regr. Quadr.	1	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	10,2771 <sup>ns</sup>	0,0098 <sup>ns</sup>	2,1765 <sup>ns</sup>	1,2811 <sup>ns</sup>	88,0509 <sup>*</sup>	152,7241 <sup>*</sup>	4,5201 <sup>ns</sup>	131,8565 <sup>**</sup>	606,9395 <sup>**</sup>	2125,9393 <sup>**</sup>
Regr. cúbica	1	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,2250 <sup>ns</sup>	3,8131 <sup>ns</sup>	0,9891 <sup>ns</sup>	0,0164 <sup>ns</sup>	22,1117 <sup>ns</sup>	2,9539 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,3980 <sup>ns</sup>	107,9780 <sup>*</sup>	0,0130 <sup>ns</sup>
Regr. 4º grau	1	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	2,1543 <sup>ns</sup>	0,0052 <sup>ns</sup>	0,3841 <sup>ns</sup>	0,3990 <sup>ns</sup>	4,7946 <sup>ns</sup>	0,6831 <sup>ns</sup>	0,4585 <sup>ns</sup>	0,0095 <sup>ns</sup>	10,7879 <sup>ns</sup>	38,5098 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0,0010 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	3,6238 <sup>ns</sup>	4,9285 <sup>ns</sup>	1,9486 <sup>ns</sup>	0,0237 <sup>ns</sup>	17,7301 <sup>ns</sup>	12,4133 <sup>ns</sup>	8,7181 <sup>ns</sup>	21,9210 <sup>ns</sup>	13,9124 <sup>ns</sup>	69,7102 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	0,0001	0,000092	3,4483	2,0140	2,4690	0,4009	14,6021	16,7099	7,0699	9,2020	17,7885	39,8199
CV(%)		31,96	73,65	20,64	16,83	82,85	30,14	44,62	33,48	38,15	35,97	26,90	28,98

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 41. Resumos das análises de variância para N, P, K, Ca, Mg e Na, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, aos 396 DAT.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios											
		N (%)		P (mg/100g)		K (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )		Ca (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )		Mg (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )		Na (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Tratamentos	5	0,0008 <sup>**</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	9,5994 <sup>*</sup>	13,8309 <sup>**</sup>	11,3171 <sup>**</sup>	13,6741 <sup>**</sup>	93,7764 <sup>**</sup>	187,6304 <sup>**</sup>	38,5169 <sup>**</sup>	61,6652 <sup>**</sup>	288,7550 <sup>**</sup>	655,1635 <sup>**</sup>
Blocos	3	0,0009 <sup>**</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	5,4804 <sup>ns</sup>	5,0109 <sup>ns</sup>	1,6238 <sup>ns</sup>	0,0220 <sup>ns</sup>	13,3890 <sup>ns</sup>	11,2322 <sup>ns</sup>	6,2695 <sup>ns</sup>	20,2511 <sup>ns</sup>	7,3076 <sup>ns</sup>	62,7890 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,0001	0,0001	3,2373	1,9114	2,0401	0,3711	12,7499	13,6708	6,7457	8,0122	17,6018	33,6902
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	0,0006 <sup>*</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0264 <sup>ns</sup>	36,3378 <sup>**</sup>	27,9378 <sup>**</sup>	47,6776 <sup>**</sup>	157,5312 <sup>**</sup>	404,2746 <sup>**</sup>	144,2451 <sup>**</sup>	77,3146 <sup>**</sup>	285,6050 <sup>**</sup>	248,1992 <sup>*</sup>
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	0,0004 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	7,9800 <sup>ns</sup>	32,4818 <sup>**</sup>	15,5682 <sup>*</sup>	18,8498 <sup>**</sup>	270,1650 <sup>**</sup>	461,1684 <sup>**</sup>	98,6310 <sup>**</sup>	182,2140 <sup>**</sup>	964,9224 <sup>**</sup>	1244,0072 <sup>**</sup>
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	0,0032 <sup>**</sup>	0,0006 <sup>**</sup>	36,1250 <sup>**</sup>	24,2208 <sup>**</sup>	0,2964 <sup>ns</sup>	1,1250 <sup>ns</sup>	6,1250 <sup>ns</sup>	1,1250 <sup>ns</sup>	21,8460 <sup>ns</sup>	4,5000 <sup>ns</sup>	70,4484 <sup>ns</sup>	8,0000 <sup>ns</sup>
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	3,5511 <sup>ns</sup>	9,3528 <sup>*</sup>	1,6020 <sup>ns</sup>	8,2012 <sup>**</sup>	204,3231 <sup>**</sup>	362,7471 <sup>**</sup>	62,3844 <sup>**</sup>	169,9246 <sup>**</sup>	810,0312 <sup>**</sup>	2056,9698 <sup>**</sup>
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	4,8985 <sup>ns</sup>	0,2520 <sup>ns</sup>	0,0364 <sup>ns</sup>	0,5565 <sup>ns</sup>	24,0471 <sup>ns</sup>	178,0384 <sup>**</sup>	15,3458 <sup>ns</sup>	70,5078 <sup>**</sup>	120,9012 <sup>*</sup>	757,3832 <sup>**</sup>
CV(%)	-	41,42	71,14	21,28	15,98	90,38	32,48	46,25	34,91	38,63	36,99	28,72	30,25
<b>Tratamentos</b>		<b>Médias</b>											
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		0,0225	0,0075	9,8850	10,5325	4,1225	4,8825	10,6250	15,9675	10,6875	8,4675	15,2650	15,3900
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		0,0250	0,0125	8,0025	10,3000	3,1750	3,0700	13,3725	16,9350	9,2175	11,7950	25,2800	29,1900
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		0,0350	0,0175	8,6675	8,4325	1,2800	2,0250	11,8575	15,2175	7,7800	11,4675	23,4400	36,3200
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		0,0300	0,0150	8,4350	6,6250	0,5200	0,5275	5,2175	11,1850	4,9650	8,1875	11,0900	23,7100
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		0,0400	0,0175	10,0000	6,2700	0,3850	0,0000	1,7500	1,7500	2,1950	2,2500	3,3150	4,2500
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		0,0000	0,0000	5,7500	9,7500	0,0000	0,7500	3,5000	2,5000	5,5000	3,7500	9,2500	6,2500

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

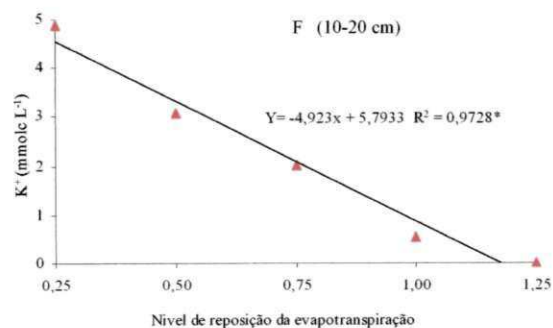
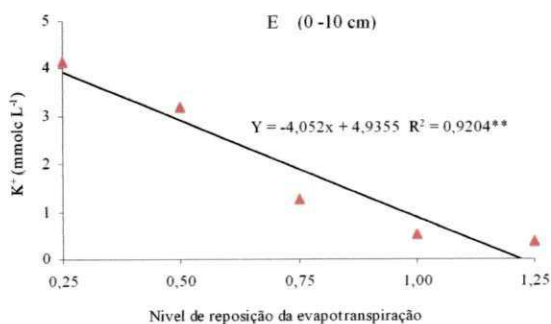
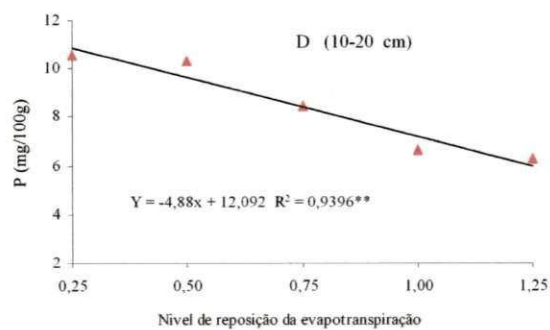
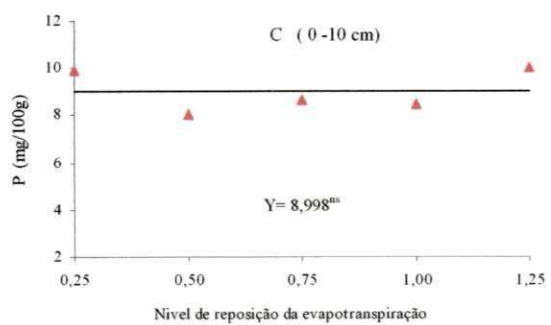
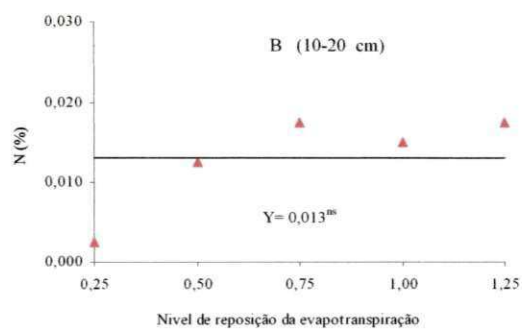
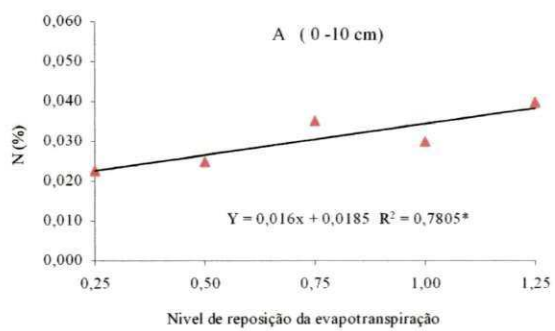


Figura 28. Valores médios das concentrações de N (A e B), P (C e D) e K (E e F) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em função de diversos níveis de reposição da ETc, aos 396 DAT.

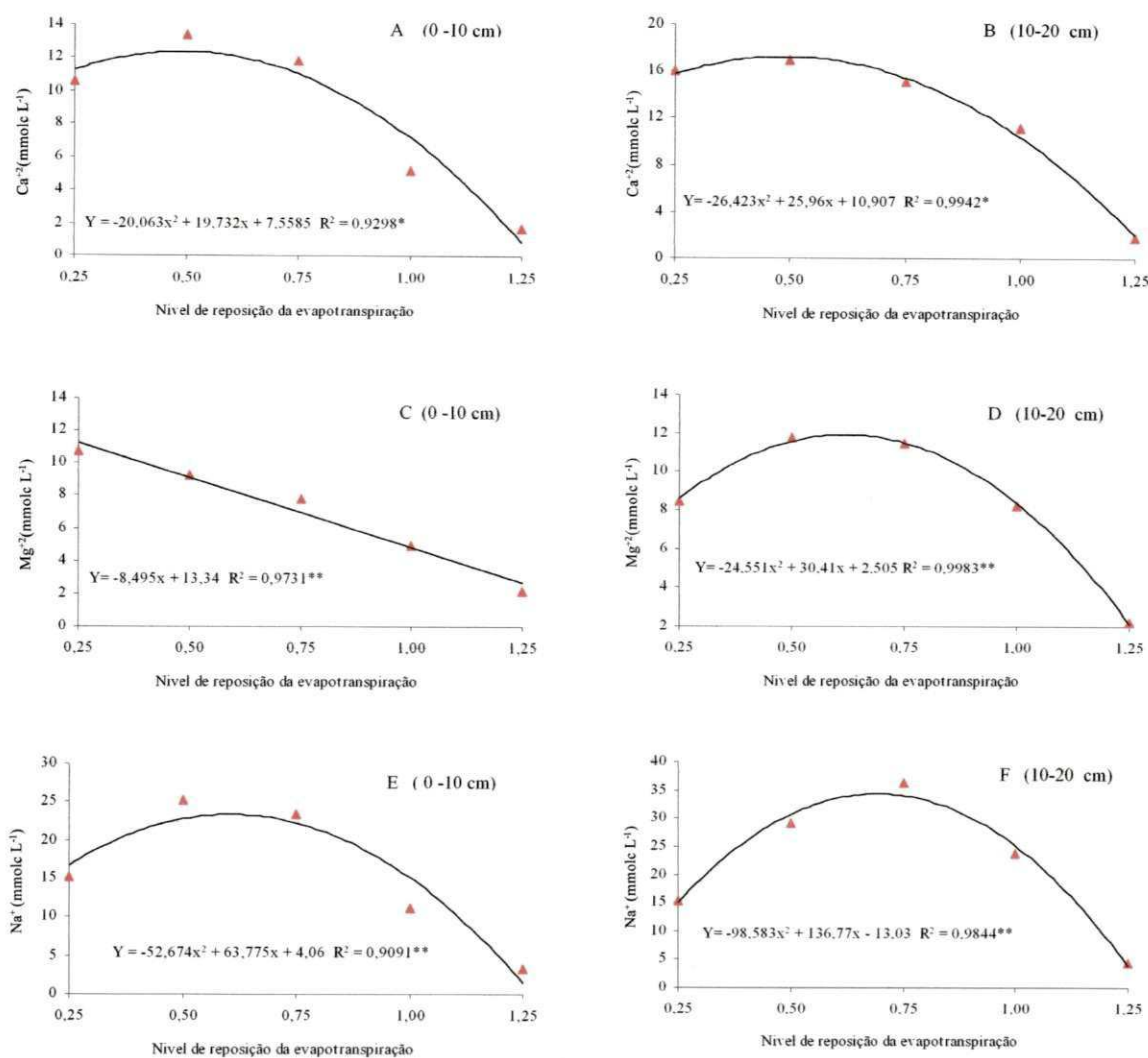


Figura 29. Valores médios das concentrações de Ca (A e B), Mg (C e D) e Na (E e F) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em função de diversos níveis de reposição da ETc, aos 396 DAT.

### 5.5.6. Potencial Hidrogeniônico do Solo

Conforme os dados apresentados na Tabela 42 e Figuras 30 A e B, nota-se efeito significativo sobre o potencial hidrogeniônico do solo - pH, nas duas profundidades. Considerando que o solo continha no início do experimento  $\text{pH} = 5,20$  (Tabela 3), a irrigação com água residuária ocasionou elevação dessa variável para 5,77 na camada superficial do solo (0-10 cm). Conforme informações de Smith et al. (1996), o efluente de esgoto tratado pode contribuir para a elevação do pH do solo, tanto na camada superficial como no subsolo, principalmente em solos irrigados durante vários anos, este aumento no pH tem sido muito pequeno, da ordem de 0,1 a 0,8 unidade. Nesta pesquisa, ocorreu um aumento de 0,57

unidades. Rodrigues (2008), trabalhando com irrigação com água residuária na cultura da mamona, determinou aumento no pH do solo de 6,33 para 7,83. Lucena et al. (2006) verificaram que a irrigação com efluente de esgoto tratado melhorou as propriedades químicas do Neossolo Quartzarênico no que diz respeito ao aumento do pH, sendo elevado de 5,7 para 6,4. Xavier (2007), estudando a cultivar BRS Nordestina e águas residuárias tratadas de três indústrias da cidade de Campina Grande, também observou, aos 135 DAS, elevação dos valores do pH de 6,68 para 8,59. A irrigação com água residuária favorece o solo, melhorando sua fertilidade (maior disponibilidade de nutrientes para as plantas) e possibilita correção da acidez do solo.

Segundo Ayers e Westcot (1999), a faixa normal do pH na água de irrigação é 6,50 a 8,40. A água residuária usada nas irrigações dessa pesquisa, possuía pH médio de 7,26 (Tabela 6), o que não causaria efeito prejudicial tanto ao solo como as plantas.

Através dos dados da análise de variância para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm, Tabela 43, observam-se na primeira camada, nos contrastes entre os valores do pH do solo irrigado com água residuária, com aqueles do tratamento testemunha, influências significativas para os tratamentos 0,25, 0,50 e 0,75 da ETc *versus* a testemunha. Entretanto, na camada de 10-20 cm do solo, apenas o contraste entre 1,25 da ETc *versus* o tratamento testemunha, não foi afetado pelos tratamentos.

O menor valor do pH foi encontrado no solo do tratamento testemunha (água de abastecimento), denotando-se a importância da irrigação com água residuária na elevação dessa variável.

A água de irrigação com uma concentração média de 486,03 mg L<sup>-1</sup> de bicarbonato, pode ter influenciado o aumento do pH do solo. De acordo com Bouwer e Idelovitch (1987), altas concentrações de Na<sup>+</sup> e CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, em águas alcalinas, ocasionam aumento do valor de pH do solo.

#### **5.5.7. Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação (CEes)**

A condutividade elétrica do extrato de saturação foi significativamente afetada pelos diferentes níveis de reposição da evapotranspiração na camada de 0-10 e 10-20 cm do solo, utilizando-se irrigação com água residuária (Tabela 42 e Figuras 30 C e D). Conforme os resultados contidos na Tabela 43 e Figuras 30 C e D, houve tendências de decréscimos na CEes, à medida que foram adicionados maiores volumes de água ao solo. Entretanto, a CEes variou de 3,6 para 0,72 dS m<sup>-1</sup> (0-10 cm), e de 3,74 para 0,90 (10-20 cm), respectivamente,

nos tratamentos Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub>. A lixiviação favorece a diminuição da concentração de sais no solo, como ocorrido nos tratamentos com 1,00 e 1,25 da ETc, com frações de lixiviação de 3,52% e 23,39 %, respectivamente; em tais condições, determinaram-se os menores valores de CEes.

As águas de irrigação, com condutividade elétrica entre 0,70 e 3,00 dS m<sup>-1</sup>, são classificadas como sendo de risco moderado, quanto ao grau de salinização. Nesta pesquisa, foram determinados valores acima dessa faixa (4,5 dS m<sup>-1</sup>), (Tabela 43), considerado de risco severo (AYERS e WESTCOT, 1999). Normalmente, pelo fato do efluente ser salino, a irrigação com água residuária tem levado ao aumento da salinidade do solo (SMITH et al., 1996), a qual pode afetar a absorção de água pelas plantas devido à presença de uma maior concentração dos íons Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> na solução do solo (BIELORAI et al., 1984). Entretanto, alguns autores têm assinalado diminuição na salinidade do solo pela irrigação com efluentes (DAY et al., 1979; STEWART et al., 1990).

Na profundidade de 0-10 cm, todos os contrastes dos valores da CEes do solo irrigado com água residuária *versus* o tratamento testemunha, foram influenciados significativamente. Na profundidade de 10-20 cm o contraste entre 0,75 da ETc *versus* o tratamento testemunha, não variou estatisticamente, (Tabela 43).

A CEes do tratamento testemunha foi maior do que à do Nr<sub>5</sub>, irrigado com um grande volume de água residuária; duas situações pode ter contribuído para esse resultado. A primeira é que no tratamento Nr<sub>5</sub> (1,25 da ETc) a fração de lixiviação foi elevada (23,39%), e a última devido a condutividade elétrica da água de irrigação (testemunha) que já continha 0,60 dS m<sup>-1</sup>, e, possivelmente aumentou a concentração de sais no solo.

Nascimento (2003), estudando a cultivar BRS Nordeste irrigada com água residuária (CEai = 1,36 dS m<sup>-1</sup>), em relação à água de abastecimento (CEai = 0,59 dS m<sup>-1</sup>), registrou incremento de 222 % na condutividade elétrica do extrato de saturação, registrando no final das observações, nas parcelas irrigadas com água residuária e de abastecimento CEes de 1,71 e 5,51 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabela 42. Resumos das análises de regressão para pH e CEes nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm no final do experimento.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		$[H^+] = 10^{-pH}$		CEes (dS m <sup>-1</sup> )	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
<b>Nível de reposição (Nr)</b>	<b>4</b>	2,27185 E-11*	1,6817E-09**	6,9146**	8,6460**
Regressão Linear	1	0,0000**	0,0000**	23,6236**	18,6732**
Regressão Quadrática	1	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0000*	3,1021**	15,7198**
Regressão cúbica	1	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0000*	0,3667 <sup>ns</sup>	0,1040 <sup>ns</sup>
Regressão 4º grau	1	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,5661 <sup>ns</sup>	0,0871 <sup>ns</sup>
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	3,7881E-11*	5,2277E-10 <sup>ns</sup>	0,1635 <sup>ns</sup>	0,5861 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	<b>12</b>	6,9754E-12	1,0275E-10	0,1323	0,6995
<b>CV(%)</b>		86,52	40,93	14,07	24,90

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Tabela 43. Resumos das análises de variância para pH e CEes nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, no final do experimento.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		$[H^+] = 10^{-pH}$		CEes	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
<b>Tratamentos</b>	<b>5</b>	4,8146 E-11**	1,6420 E-09**	6,3158**	10,6283**
<b>Blocos</b>	<b>3</b>	3,9245 E-11*	6,9423 E-10**	0,1090 <sup>ns</sup>	0,4884
<b>Resíduo</b>	<b>15</b>	7,4657 E-12	1,1098 E-10	0,1834	0,579182
N <sub>0,25</sub> vs Test.	1	0,0000*	0,0000**	16,6176**	16,0744**
N <sub>0,50</sub> vs Test.	1	0,0000*	0,0000**	16,6176**	24,5000**
N <sub>0,75</sub> vs Test.	1	0,0000**	0,0000**	1,2246*	0,0200 <sup>ns</sup>
N <sub>1,00</sub> vs Test.	1	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0000**	13,5981**	26,2812**
N <sub>1,25</sub> vs Test.	1	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	1,8528**	10,9278**
<b>CV(%)</b>	<b>-</b>	65,52	37,25	17,82	25,66
<b>Tratamentos</b>		<b>Médias</b>		<b>dS m<sup>-1</sup></b>	
		<b>pH = -log [H<sup>+</sup>]</b>			
Nr <sub>1</sub> (0,25 ETc)		5,2218	4,4318	3,6000	3,7350
Nr <sub>2</sub> (0,50 ETc)		5,2218	4,3098	3,6000	4,4000
Nr <sub>3</sub> (0,75 ETc)		5,6990	4,5086	3,3250	4,5250
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)		5,6990	5,1549	1,6800	3,2375
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)		6,9872	6,9855	0,7175	0,9000
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )		5,0000	4,3372	1,5000	1,0000

(\*\*, \*, <sup>ns</sup>) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.



tratamentos Nr<sub>4</sub> e testemunha, devido à maior fração de lixiviação, neste tratamento (1,25 da ETc) foi estabelecida uma FL de 25% (0,25 da ETc) do volume aplicado em cada planta.

Nos tratamentos em que ocorreu drenagem, houve tendências de decréscimos na concentrações de sais (K, Ca, Mg e Na) no perfil do solo, ocasionadas pela fração de lixiviação. Com maior fração de lixiviação, ocorre menor retenção de sais no solo, refletindo em menores danos às plantas.

Nos menores níveis de reposição da ETc, tratamentos sem lixiviação (0,25, 0,50 e 0,75 da ETc), após cada irrigação, os sais da água residuária e da água de abastecimento (testemunha) se concentravam na solução do solo, e, com a absorção da água armazenada na zona radicular pelas plantas, grande teor de sais continuavam no solo, resultando em danos às plantas.

Tabela 44. Valores médios para as variáveis condutividade elétrica da água de drenagem e fração de lixiviação no decorrer do experimento.

Tratamentos	Períodos de Avaliação Experimental (DAT)								
	18-60	60-102	102-144	144-186	186-228	228-270	270-312	312-354	354-396
	<b>CEad (dS m<sup>-1</sup>)</b>								
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)	5,57	4,76	3,86	5,13	3,65	7,96	13,31	12,77	11,83
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)	5,36	4,74	2,61	2,77	2,65	3,46	3,60	3,29	2,22
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )	5,65	5,65	6,85	4,48	5,58	4,80	4,91	4,94	4,75
	<b>Fração de Lixiviação (%)</b>								
Nr <sub>4</sub> (1,00 ETc)	4,47	4,86	6,30	2,74	2,30	2,17	2,67	2,32	3,88
Nr <sub>5</sub> (1,25 ETc)	22,08	24,82	23,20	23,69	24,04	17,34	24,57	24,53	26,24
Test. (0,60 dS m <sup>-1</sup> )	5,63	6,27	7,63	6,65	5,28	6,88	6,26	3,99	9,15

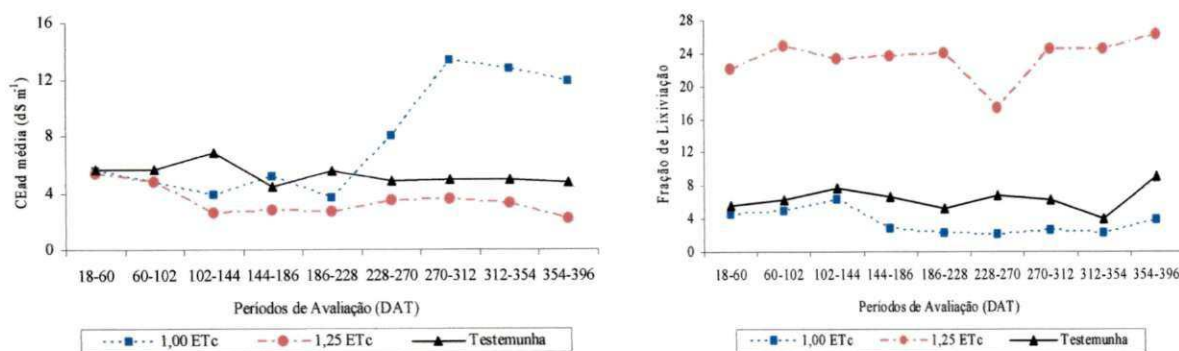


Figura 31. Condutividade média da água de drenagem e fração de lixiviação durante o período de 18 a 396 dias após o transplantio.

## 6. CONCLUSÕES

- A área foliar do pinhão manso é a variável de crescimento mais sensível ao estresse hídrico.
- Aos 396 dias após o transplântio, o aumento do número de folhas por cada centésimo de incremento da evapotranspiração chega a 32,7% (16 novas folhas).
- A taxa de crescimento absoluto em altura de plantas do pinhão manso aumenta 0,75, 0,55, 0,64, 1,63, 2,42 e 1,76 %, respectivamente, nos períodos 18-60, 60-102, 102-144, 186-228, 270-312 e 354-396 dias após o transplântio, por cada centésimo de incremento da ETc.
- O maior incremento na taxa de crescimento absoluto em diâmetro caulinar do pinhão manso (10,91%) ocorre no período de 186-228 dias após o transplântio, por cada centésimo de incremento da evapotranspiração.
- Ocorrem acréscimos na TCR AP do pinhão manso entre os tratamentos 0,25 e 1,25 da ETc, de 38,23 e 121,85%, nos períodos 18-60 e 270-312 dias após o transplântio, respectivamente. Enquanto para o diâmetro caulinar, o aumento na TCR é de 77,22%, no período de 186-228 DAT.
- A emissão das três primeiras inflorescências das plantas de pinhão manso acontece em média aos 79, 87 e 94 DAT.
- Ocorre aumento de 648,80% no número médio de cachos, 1515,61% no peso médio das sementes, 1423,20% no peso médio dos frutos e de 976,39% no número médio de frutos, entre os tratamentos com 0,25 e 1,25 da ETc.
- A produção média das plantas do tratamento de 1,00 da ETc, irrigadas com água residuária, aumenta 405 g de sementes em relação ao tratamento testemunha.
- O número de frutos das plantas irrigadas com água residuária, dos tratamentos com 1,00 e 1,25 da ETc, aumenta em 64 e 575 frutos, respectivamente, em relação ao tratamento testemunha.
- O teor de óleo das sementes varia de 32,33 para 35,92% no tratamento de 0,25 da ETc, e de 40,52 para 41,95% em 1,25 da ETc, respectivamente, aos 249 e 396 DAT; nas plantas testemunhas; nesses períodos, atinge aproximadamente, 35 e 34%.

- Ocorre aumento na evapotranspiração da cultura de 537,92, 582,23, 576,52, 566,53 e 534,94%, nos períodos 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 DAT, respectivamente, entre os tratamentos Nr1 e Nr5.
- O incremento no consumo de água pelas plantas, entre os tratamentos 0,25 e 1,25 da ETc, equivalente a 537,98, 582,21, 576,46, 566,51 e 534,95%, respectivamente, aos 186-228, 228-270, 270-312, 312-354 e 354-396 DAT.
- O consumo total de água e a evapotranspiração total da cultura aumentam 516,39%, entre os tratamentos 0,25 e 1,25 da ETc.
- A ETc média das plantas ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), varia de 1,98 para 16,85 litros, nos tratamentos de 0,25 e 1,25 da ETc, respectivamente.
- O melhor valor médio, para o coeficiente de cultivo do pinhão na condição de 100% de reposição da evapotranspiração, é de 2,17.
- A eficiência de uso da água das plantas irrigadas com água residuária aumenta 0,0025  $\text{kg m}^{-3}$  (1,85%) por cada centésimo de incremento da evapotranspiração, sendo menor nas plantas irrigadas com água de abastecimento (testemunha).
- Os teores de N, P, K, Ca, Mg e Na do solo aumenta após a irrigação com efluente de esgoto doméstico não tratado, observando-se na camada de 10-20 cm maiores concentrações de K, Ca, Mg e Na.
- Os maiores valores da condutividade elétrica do extrato de saturação foram determinados na camada de 10-20 cm de profundidade, e, para o potencial hidrogeniônico do solo, na camada de 0-10 cm.
- A CEad média no período de 18-396 DAT equivale a 7,65, 3,41 e 5,29  $\text{dS m}^{-1}$ , respectivamente, nos tratamentos Nr4, Nr5 e testemunha, com as respectivas frações de lixiviação 3,52, 23,39 e 6,42%.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABA - ANUÁRIO BRASILEIRO DE AGROENERGIA, Santa Cruz do Sul, Ed: **Gazeta**, 2007.
- ADAM, J. Les plantes à matiere grasse. Paris: [s.n.], 1953. v. 4, 224p
- ADAM S. E. Toxic effects of *Jatropha curcas* in mice. *Toxicology*. 1974. Mar; 2 (1):67–76.
- AGENDA 21: Capítulo 18 – Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. 1992. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 15/10/2008.
- ALBUQUERQUE, W. G.; AZEVEDO, C. A. V.; BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, M. A. O.; NASCIMENTO, J. V. R. J. Crescimento do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em função de níveis de água e adubação nitrogenada. In: III Congresso Nacional da Mamona - Energia e Bioquímica **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2008. CD-Rom.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998, 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S. An update for the calculation of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v. 43 n. 2, p.35 – 90, 1994.
- AL-NAKSHABANDI, G. A.; SAQQAR, M. M.; SHATANAWI, M. R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some enviromental problems associated with the use of treated wasterwater for irrigation in Jordan. *Agricultural Water Management*, v.34, p.81-94, 1997.
- ANGUS, J. F.; van HERWAARDEN, A. F. Increasing water use and water efficiency in dryland wheat. **Agronomy Journal**, Madison, WI , v. 93, p. 290-298, 2001.
- ANYIA, A. O.; HERZOG, H. 2004, Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *Eur. J. Agron.* 20, 327-339.
- ARAÚJO, C. A. S. **Avaliação de feijoeiros quanto à tolerância à salinidade em solução nutritiva**, 1994. 87p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

ARRUDA, F. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; ANDRADE, A. P. de; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o Semiárido Nordeste. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.8, n.1, p.789-799, 2004.

ASANO, T., Wastewater reclamation and reuse. Water Quality Management Library – volume 10. 1998, Technomic Publishing Co., Inc., USA.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade de água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, Paper, 29, revisado.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. S. Water quality for agriculture. Rome: FAO, 1985. 174p. (Irrigation and Drainage Paper, 29).

AVELAR, R. C.; JÚNIOR, D.; APARECIDO, M.; CARVALHO, J. P. F. Produção de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em tubetes. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2005. Varginha. Resumos... Viçosa, 2005, p. 298-301.

BALKS, M. R.; BOND, W. J; SMITH, C. J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. Australian Journal of Soil Research, v.36, p.821-830, 1998.

BARROS JÚNIOR, G. **Efeito do conteúdo de água do solo, monitorado com TDR, sobre o desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona**, 2007. 153p. (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.

BASTOS, R. K. X. (Coord.) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, Rima. 2003. 267p.

BELTRÃO, N. E. M. **Considerações gerais sobre o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e a necessidade urgente de pesquisas, desenvolvimento e inovações tecnológicas para esta planta nas condições brasileiras**. Campina Grande - PB. 2006. 4p. <http://www.mda.gov.br/saf/arquivos/0705910897.doc>. 09/08/2008.

BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C.; MELO, F. B. Mamona consorciada com feijão visando produção de biodiesel, emprego e renda. **Bahia Agrícola**. v.5, n.2, p.34-37, 2002.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal, FUNEP, 2003. 41p.

---

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. et al. (Ed.). Agrometeorologia aplicada a irrigação: Porto Alegre: Editora da Universidade, 1999. cap. 2, p. 25-32.

BIELORAI, H.; VAISMAN, I.; FEIGIN, A. Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents: I. Yield response. *Journal of Environmental Quality*, v.13, p.231-234, 1984.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. *Functional Ecology*, New York, v.3, p.497-514, 1989.

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

BOUWER, H.; IDELOVITCH, E. Quality requirements for irrigation with sewage water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.113, p.516-535, 1987.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L. Introdução a Engenharia Ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL, Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Brasília: STI/CIT, 1985, 364p.

CARNIELLI, F. **O combustível do futuro**. <http://www.ufmg.br/boletim>. 20 fev. 2008.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CAVALCANTI, M. L. F. **Estresse hídrico em fases fenológicas do cajueiro anão precoce em ambiente protegido**. 2007. 111p. (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.

CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F. A .L.; SIQUEIRA, E. C. Índices ecofisiológicos da mamoneira sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.66-70, 2005.

CLARK; ALBREGTS, E. E.; STANLEY, C. D. et al. Water requirements and crop coefficients



- COELHO, M. A.; SONCIN, N. B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna. 1982. 368p.
- COLETTI, A. J.; DALLACORT, R.; MARTINS, J. A. Número de sementes por fruto da cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). In: II Semana de Ciência e Tecnologia e IV Mostra Interdepartamental de Trabalhos Acadêmicos da UNEMAT, 2008, Tangará da Serra, 2008. p.7-98.
- CORREIA, K. G. **Índices fenológicos e fisiológicos de amendoim sob estresse salino**, 2005. 70p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.
- CORTESÃO, M. **Culturas tropicais: plantas oleaginosas**. Lisboa: Clássica, 1956. 231p.
- DAY, A. D.; McFADYEN, J. A.; TUCKER, T. C.; CLUFF, C. B. Commercial production of wheat grain irrigated with municipal water and pump water. **Journal of Environmental Quality**, v.8, p.403-406, 1979.
- DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, A. **Cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.): para produção de óleo combustível**. Viçosa – MG, 2007. 40p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. il. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 1975. 198p. (Irrigation and Drainage Paper 24).
- DRUMOND, M. A. Produção de pinhão manso no semiárido brasileiro (2007). Disponível em: [www.cpamn.embrapa.br/agrobioenergia/trabalhos/016.PDF](http://www.cpamn.embrapa.br/agrobioenergia/trabalhos/016.PDF), Acesso em: 25 de setembro de 2008.
- DRUMOND, A. R. F.; GAZINEU, M. H. P.; ALMEIDA, L.; MAIOR, A. S. Produção e valor energético da torta de mamona do Agreste pernambucano. In: II Congresso Brasileiro de Mamona – Cenário Atual e Perspectivas. Aracaju, SE. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD-Rom. 5p.
- DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; FERRER, J. L. R.; MACHADO, R. A. F. Adaptação de milho às condições de seca: 2. Florescimento e maturidade fisiológica de sementes de



linhagens contrastantes para o parâmetro fenotípico IFMF. In: Congresso Nacional de milho e sorgo, 23, 2000, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABMS, 2000. CD-Rom.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1997. 212p.

ENGLISH, M.; RAJA, S. N. 1996, Perspectives on deficit irrigation. *Agr. Water Manage.* 32, 1-14.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas*. Londrina, Planta, 2006. 402p.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. *Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection*. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FERREIRA, D. F. **Sisvar** - Sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.

FERREIRA, P. V. *Estatística experimental aplicada à agronomia*. 2.ed. Revisada e ampliada. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUNDEPES, 2000. 437p.

GHAZZAN, T. Q.; MOHAMAD, I.; AL-WIDAN, B.; ALI, O, A Combustion performance and emissions of ethyl ester of a waste vegetable oil in a water-cooled furnace, *Applied Thermal Engineer*, v, 23, p, 285-293, 2003.

HARGREAVES. G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. *American Society of Agricultural Engineering*, Chicago, v.85, n.1, p.2517, 1985.

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. 2001, Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agron. J.* 93, 271-280.

HELLER, J. **Physic nut: *Jatropha curcas* L.** Rome: International Genetic Resources Institute, 1996. 66p.

HERNANDEZ, F. B. T. **Determinação do consumo de água na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) na região de Jaboticabal-SP**, 1991. 77p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Prof. Julio de Mesquita Filho: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil - agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (eds). **Reuso de água**.

Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. SP: Manole, 2003. cap.3, p.37-95.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil - agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v.7, p.75-95, 2002.

HOPPO, S. D.; ELLIOT, D. E.; REUTER, D. J. Plant tests for diagnosing phosphorus deficiency in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.39, p.857-872, 1999.

HSIAO, T. C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, v.24, p.519-570, 1973.

JONES, C. A. **C4 Grasses and Cereals: Growth, Development and Stress Response**. New York: John Wiley e Sons, 1985. 419 p.

JOHNS, G. G.; McCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. II. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 45, p.1619-1638, 1994.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 692 p.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A, 2004.

KONIG, A.; CEBALLOS, B. S. O. Reuso de Água Residuárias na Agricultura – Uma Alternativa para a Produção Agrícola e Controle da Poluição Ambiental. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, Campina Grande, PB **Anais...** Campina Grande: 1997.

KOUTROUBAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K.; DOITSINIS, A. Water requirements for castor oil crop (*Ricinus communis* L.) in a Mediterranean climate. **J. Agro. & Crop Science**, Berlin, p. 33-41, 2000.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic, 1995. 495p.

LACERDA, R. D. de. **Resposta da mamoneira BRS 188 – Paraguaçu a diferentes níveis de água e matéria orgânica no solo**, 2006. 70p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: PRADO, C. H. B. A. São Carlos: Rima, 2000. 531p.

LAUCHLI, A. EPSTEIN, E. Plant responses to saline and sodic conditions. In: TANJI, K. K. (ed.) **Agricultural salinity assessment and management**. New York: SCE, p.113-137, 1990.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, A. S., Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão manso, **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 32 nº 5, Viçosa, 2008.

LEÓN SUEMATSU, G.; 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, UFPB. 109p. 1999.

LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J.A. **Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 1989. 64p.

LUCENA, A. M. A.; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, I. H. G.; COSTA, F. X. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um Neossolo quartzarênico. Mossoró – RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.19, n.4, p.409-414, out/dez. 2006.

MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K.; SPORER, F.; WINK, M. Studies on Nutritive Potential and Toxic Constituents of Different Provenances of *Jatropha curcas*: **Journal of Agriculture Food Chemistry**, USA, v.45, n.8, p.3152-3157, 1997.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reuso de água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, 2003.

MARA, D.; CAIRNCROSS, S. **Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura**. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. 1990.

MARTIN, J. P.; RICHARDS, S. J.; PRATT, P. F. Relationship of exchangeable Na percentage at different soil pH levels to hydraulic conductivity. **Soil Science Society America of Proceedings**. v.28 p.620-622, 1964.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; 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**, Campina Grande, PB. v.9, n.4, p.603-612, 2005.

MEDEIROS, J. F., Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados de RN, PB e CE, 1992. 173p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB.

MENDONÇA, S. R., Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente: novos conceitos- Ed. Universitária/UFPB, João Pessoa, 1990.

MELO, J. C.; BRANDER Jr. W.; CAMPOS, R. J. A.; PACHECO, J. G. A; SCHULER, A. R. P.; STRAGEVITCH, L. Avaliação Preliminar do Potencial do Pinhão manso para a Produção de Biodiesel. In: I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, Brasília, 2006.

MELO, F. B; BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, P. H. S. **Cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) consorciada com feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Semiárido.** Teresina: PI, Documentos 74, p.16-17, 2003.

MUNNS, R.; BRADY, C. J.; BARLOW, E. W. R. Solute accumulation in the apex and leaves of wheat during water stress. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 6, p. 379-389, 1979.

NASCIMENTO, M. B. H. **Modificações no ambiente edáfico, na água e na mamoneira submetidos ao uso de biossólido e água residuária**, 2003. 75p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.

NERY, A. R. **Crescimento e desenvolvimento do pinhão manso irrigado com águas salinas sob ambiente protegido**, 2008. 116p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, G. J. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.104, p.199-209, 2005.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coord.) **Métodos de pesquisa em ambiente controlado**. Brasília: Embrapa, Documentos 3, p.189-273, 1991.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Coordenação Ariovaldo Nuvolari. São Paulo: Edgard Blüncher, 2003, 520p.

PEIXOTO, A.R. **Plantas oleaginosas arbóreas**. São Paulo: Nobel, 1973. 284p.

PENIDO FILHO, P.; VILLANO, F. O emprego éster da mamona nos motores dos veículos FIAT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA. **Anais...** Rio de Janeiro, 1984.

POMPEO, R. P.; NOLASCO, M. A. Potencial de reuso de água na agricultura no município de São José dos Pinhais (PR). (Apresentação oral - Código II-468).. In: XXIV - Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2007, Belo Horizonte. XXIV - Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2007.

PROSAB - Programa de pesquisa em saneamento básico. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/index.html>. Acesso em: 17 de agosto de 2007, 15:05.

PIRES, R. C. M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FOLEGATTI, M. V. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. v.1. Piracicaba: FUNEP, 2001. p.121-194.

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

PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. Tecnologias de produção de café com qualidade. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.607-615.

PURCINO, A. A. C.; DRUMMOND, O. A. **Pinhão manso**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1986. 7p.

RAMOS, L. P.; KUCEK, K. T.; DOMINGOS, A. K.; WILHEIM, H. M. Biodiesel: Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento** , n. 31, p.28-37, 2003.

RATREE, S. A. Preliminary study on physic nut *Jatropha curcas* in thailand. **Journal of Biological Sciences**, v. 7, n. 9, p. 1620-1623, 2004.

RAVEN P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Movimento de água e soluto nas plantas. In: **Biologia Vegetal**. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanagara Koogan, 2001. 720p.

RHOADES, J. D; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Tradução de H. R. Gheyi, J. R. de Sousa, J. E. Queiroz. Campina Grande, UFPB, 1992. 117p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 48).

RICHARDS, L. A. **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos e sodicos**. United States Department of Agriculture (USDA), México, 1977. 172p.

RODRIGUES, I. N. **Níveis de reposição da evapotranspiração da mamoneira irrigada com água residuária**, 2008. 144p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.

RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Eds.) **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1994. p.203-230.

SANTOS, S.; FERREIRA Jr., E. J.; PIRES, B. e NETTO, A. P. C. Efeito de diferentes adubações no desenvolvimento inicial de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4., Varginha, 2007. **Anais...** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. p.547-554.

SANTOS, J. W. dos; GHEYI, H. R. **Estatística experimental aplicada – Tópicos de engenharia agrícola e agrônômica**. Ed. Gráfica Marcone Ltda. Campina Grande. 2003. 213p.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J. TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, EPAMIG, v.26, n.229, p.44-78, 2005.

SCHOLES, J. D.; HORTON, P. **Photosynthesis and chlorophyll fluorescence: Simultaneous measurements**. In: HENDRY, G.A.F. e GRIME, J.P. (edS.). **Methods in comparative plant ecology**. London: Chapman e Hall, p.130-135, 1993.

SEDIYAMA, G. C. Necessidade de água para os cultivos. Brasília, ABEAS, 1987. 143p.

SEVERINO, L. S.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M. In: I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel. **Anais...**, Brasília, p.73-77, 2006.

SEVERINO, L. S.; MORAES, C. R. A.; FERREIRA, G. B.; CARDOSO, G. D.; GONDIM, T. M. S.; BELTRÃO, N. E. de M.; VIRIATO, J. R. **Crescimento e produtividade da**

**mamoneira sob fertilização química em região semiárida.** Campina Grande – Embrapa Algodão: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Setembro de 2005, n. 62,19p.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. M.; AMORIM NETO, M. S. **Análise do crescimento de comunidades vegetais.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2000. 46 p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 34).

SILVA, J. T. A.; COSTA, E. L.; SILVA, I. P. e NETO, A. M. Adubação do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) com nitrogênio e fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4, Varginha, 2007, Anais. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. p.1316-1320.

SILVA, S. M. S. **Germinação, crescimento e desenvolvimento de genótipos de mamoneiro irrigados com águas salinas,** 2004. 74p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. de M. Incremento de fitomassa e produtividade do amendoimzeiro em função de lâmina e intervalos de irrigação. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas,** v.4, n.2, p.11-121, 2000.

SILVA, F. C. **Uso de dispositivos lisimétrico para medida da evapotranspiração de referência.** 1996. 68p. (Dissertação de Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ, Piracicaba-SP.

SILVEIRA, J. C. Contribution a l'étude du pulgère aux iles duCap Vert. In: INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA (Campinas, SP). **Anais...** Campinas, 1934. v. 6, p. 116-126.

SMITH, C. J.; HOPMANS, P.; COOK, F. J. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. **Environmental Pollution,** v.94, p.317-323, 1996.

SOUSA, J. T.; LEITE, V. D. **Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura.** 2.ed. Campina Grande: EDUEP, 2003. 135p.

SOUSA, A. P.; DANTAS NETO, J. **Manejo de irrigação através do balanço de água no solo.** Teresina: Embrapa – CPAMN, Documentos 23, 1997. 36p.



SOUZA, M. R. **Comportamento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv Eriparza) submetido a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação**, 1995. 94p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB.

SPEIR, T. W.; VAN SCHAIK, A. P.; KETTLES, H. A.; VICENT, K. W.; CAMPBELL, D. J. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. *Journal of Environmental Quality*, 28, p.1105-1114, 1999.

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.

STIRPE, F; PESSION-BRIZZI, A; LORENZONI, E; STROCCHI, P; MONTANARO, L; SPERTI S. Studies on the proteins from the seeds of *Croton tiglium* and of *Jatropha curcas*. Toxic properties and inhibition of protein synthesis in vitro. *Biochemical Journal*, Londres, v.156, n.1, p.1-6, 1976.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASSOI, L. H.; REIS, V. C. S.; DA SILVA, T. G. F.; FERREIRA, M. N. L.; MAIA, J. L. T. Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações agrometeorológicas automática e convencional. *Revista Brasileira de Fruticultura*. v.25, n.3, p.457-460, 2003.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASSOI, L. H.; COSTA, W. P. L. B.; SILVA, J. A. M; SILVA, E. E. G. Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 10, n.1, p.45 – 50, 2002.

TOMINAGA, N. Pinhão manso. *Revista Biodiesel*. n. 25, p. 20-22, 2008.

TOMINAGA, N.; KAKIDA, J.; YASUDA, E. K.; SOUSA, L. A. S.; RESENDE, P. L.; SILVA, N. D. **Cultivo do pinhão manso para produção de biodiesel**. Viçosa-MG, Centro de Produções Técnicas - CPT, 2007. 220p.

VALE, L. S.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Efeito da salinidade da água sobre o pinhão manso. In: I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel. *Anais...*, Brasília. p.87-90, 2006.

VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N. J.; MARA, D. D. Management of domestic wastewater for use in irrigation. *Water Science e Technology*, v.355-362, 1996.

VAN HAANDEL, A., LETTINGA, G. (1994) **Tratamento anaeróbio de esgotos - um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Guerreiro e Catunda. 125p.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e o tratamento de esgotos. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WEISS, E. A. **Castor, sesame and safflower**. London: Leonard Hill, 1971. 901 p.

XAVIER, J. F. **Águas residuárias provenientes de indústrias e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS Nordestina**, 2007. 101p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.