

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DOUTORADO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**NÍVEIS DE REPOSIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA  
MAMONEIRA IRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA**

**TESE**

**LUIS NERY RODRIGUES**

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA  
FEVEREIRO - 2008**

**LUIS NERY RODRIGUES**  
- ENGENHEIRO AGRÔNOMO -

**NÍVEIS DE REPOSIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA  
MAMONEIRA IRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA**

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 *Doctor scientiae* em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

**ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

ORIENTADORES:

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

**NAPOLEÃO ESBERAD DE MACÊDO BELTRÃO – Doutor – CNPA/EMBRAPA**

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

FEVEREIRO – 2008

## FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R696n Rodrigues, Luis Nery  
2008 Níveis de reposição da evapotranspiração da mamoneira irrigada com água residuária/Luis Nery Rodrigues. — Campina Grande: UFCG, 2008. 161f.: il.

## Referências.

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

Orientadores: Dr. Pedro Dantas Fernandes, Dr. Napoleão E. de M. Beltrão.

1-Ricinus communis L. 2-Estresse hídrico. 3-Esgoto Doméstico.  
I-Título.

CDU- 633.912

**DIGITALIZAÇÃO:****SISTEMOTECA - UFCG**



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



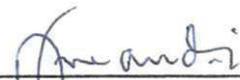
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DO DOUTORANDO

**LUIS NERY RODRIGUES**

**“NÍVEIS DE REPOSIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA  
MAMONEIRA IRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA”**

COMISSÃO EXAMINADORA

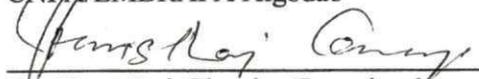
PARECER

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Pedro Dantas Fernandes – Orientador  
UAEA/CTRN/UFPA

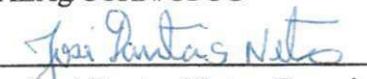
Aprovado com distinção.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão – Orientador  
CNPQ/EMBRAPA Algodão

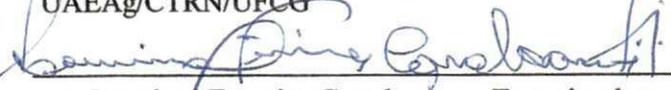
Aprovado com distinção.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Hans Raj Gheyi – Examinador  
UAEA/CTRN/UFPA

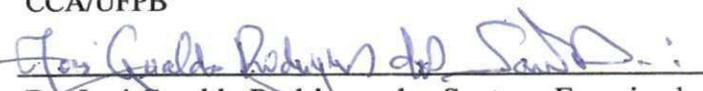
Aprovado com distinção

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Dantas Neto - Examinador  
UAEA/CTRN/UFPA

Aprovado com distinção

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Lourival Ferreira Cavalcante – Examinador  
CCA/UEPB

Aprovado com distinção

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos - Examinador  
CCHA/UEPB

Aprovado com distinção

Campina Grande, 12 de fevereiro de 2008

*Em memória de minha prima **Emanuela**  
que nos deixou no auge de sua juventude e pureza.*

**MINHA HOMENAGEM**

*A minha companheira e esposa  
**Aparecida (Cidinha)**, meus filhos **Lennon**  
**Rodrigo e Ivan Luís** e meus queridos pais,  
**Adão e Maria Nery** e irmãos, **OFEREÇO**.  
Com muito amor, a todos os parentes,  
**DEDICO**.*

## AGRADECIMENTOS

*A DEUS, Todo Poderoso, por minha existência e por me proporcionar capacidade e disposição para a conclusão desta etapa de minha vida.*

*À Escola Agrotécnica Federal de Castanhal - EAFC - PA, pela oportunidade e confiança para a realização do curso.*

*Ao Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-Hidro)/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro durante o curso.*

*Aos Drs. Pedro Dantas Fernandes e Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão, pelos ensinamentos ministrados, apoio e orientação do trabalho.*

*À Coordenação e aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, pela contribuição científica.*

*Às Sras. Rivanilda e Aparecida, secretárias da Pós-Graduação, pela ajuda e atenção em vários momentos.*

*Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade, Francisco Alves (Chico), Francisco de Assis ('Doutor'), José Wilson, Adilson David, José Gomes ('Seu Zé') e Pedro ('seu Pedro') pelo companheirismo e condução das análises laboratoriais.*

*Aos colegas do curso, Mário Luiz e Genival Barros, que dedicaram parte do precioso tempo na coleta de dados da pesquisa e pelas valiosas colaborações.*

*Aos colegas do curso, Mário Luiz, Genival Barros, Aurean Carvalho, Sérvulo Mercier, Paulo Torres, Reginaldo Nobre, Maria Leide, Eliezer da Cunha, Ivana Cordeiro, Vanda Maria, Soahd Arruda, Frederico Antônio (Fred), Betânia H. do Nascimento, Betânia R. Silva, Rogério Lacerda, Cláudio Uyeda (Japa), Ridelson Farias, Severino Pereira, Valfísio e Daniel Kühner, pelo proveitoso convívio e pelas valiosas ajudas, sugestões e incentivos.*

*A 'Cinho', 'Valdinho' e 'Juquina', que ajudaram na instalação e condução dos trabalhos.*

*A minha esposa, Aparecida Rodrigues Nery e aos filhos Lennon Rodrigo Rodrigues Nery e Ivan Luis Rodrigues Nery, pelo apoio e estímulo durante o período do curso.*

*A meus pais, Adão Rodrigues da Cunha e Maria Nery Rodrigues e a irmãos, pelos esforços despendidos na minha formação moral e educacional.*

*Enfim, a todas as pessoas que mostraram interesse e contribuíram de alguma forma para a conclusão desta empreitada.*

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE APÊNDICES.....	xv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. – Objetivo Geral.....	3
1.1. – Objetivos Específicos.....	3
<b>2 – REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 - Aspectos Gerais da Mamoneira.....	4
2.2 – Importância Econômica da Mamoneira.....	5
2.3 - Cultivo da Mamoneira.....	7
2.3.1 – Necessidade Hídrica e Clima.....	7
2.3.2 – Solo e Adubação.....	8
2.3.3 – Plantio.....	9
2.3.4 – Colheita.....	10
2.4 – Evapotranspiração e Coeficiente de Cultura .....	10
2.5 – Eficiência de Uso de Água (E.U.A.).....	12
2.6 - Qualidade da Água na Agricultura: Aspectos Gerais.....	13
2.6.1 – Qualidade da Água de Irrigação.....	14
2.7 - Uso de Águas Residuárias na Agricultura.....	18
2.7.1 – Vantagens e Limitações.....	22
2.8 - Diretrizes para o Uso de Águas Residuárias: Aspectos Sanitários.....	24
2.8.1 – Organismos Patogênicos.....	24
2.8.2 – Metais Pesados.....	28
2.8.3 – Métodos de Irrigação.....	31
2.9 – Crescimento e Desenvolvimento da Mamoneira Irrigada com Água Residuária.....	32

2.10 - Estresse Hídrico em Plantas.....	32
2.11 – O Biodiesel.....	33
<b>3 – MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1 – Localização do Experimento.....	35
3.2 – Clima.....	35
3.3 – Genótipos de Mamoneira.....	36
3.4 - Procedimento de Instalação do Experimento.....	37
3.4.1 - Solo.....	38
3.4.2 - Calagem e Adubação.....	39
3.4.3 - Água de Irrigação.....	41
3.5 - Semeadura.....	42
3.6 - Delineamento Experimental e Tratamentos.....	43
3.7 – Tratos Culturais.....	43
3.8 – Evapotranspiração da Cultura (ETc) Medida.....	44
3.9 - Evapotranspiração da Cultura (ETc) Estimada.....	44
3.10 – Variáveis Não Destrutivas Avaliadas.....	46
3.10.1 - Altura de Planta (AP).....	46
3.10.2 - Diâmetro Caulinar (DC).....	46
3.10.3 - Número de Folhas (NF) e Área Foliar (AF).....	46
3.10.4 - Taxas de Crescimento Absoluto e Relativo (TCA, TCR).....	47
3.10.5 - Fluorescência da Clorofila ‘a’.....	48
3.10.6 - Condutância Estomática (gs).....	48
3.10.7 – Componentes do Primeiro Racemo.....	48
3.11 - Variáveis Destrutivas.....	49
3.11.1 – Fitomassa Total da Parte Aérea (FPA).....	49
3.11.2 – Fitomassa de Raízes (FR).....	49
3.11.3 - Relação Raiz Parte Aérea (R/PA).....	49
3.11.4 - Componentes de Produção.....	49
3.12 - Análise de Fertilidade do Solo ao Final do Experimento.....	50

3.13 – Estado Nutricional das Plantas (Macronutrientes, Micronutrientes e Sódio).....	50
3.14 – ETc Medida e ETc Estimada.....	51
3.15 – Determinação dos Coeficientes de Cultivo (kc).....	51
3.16 - Volume de Água Consumido e Eficiência de Utilização de Água.....	51
3.17 - Condutividade Elétrica da Água de Drenagem (CE <sub>ad</sub> ) e Fração de Lixiviação (FL).....	51
3.18 – Análises Estatísticas.....	52
<b>4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>53</b>
4.1 – Altura de Planta (AP).....	53
4.2 – Diâmetro Caulinar (DC).....	55
4.3 – Número de Folhas (NF).....	57
4.4 – Área Foliar (AF).....	59
4.5 – Taxas de Crescimento.....	62
4.6 – Condutância Estomática (gs).....	72
4.7 - Fluorescência da Clorofila ‘a’.....	74
4.8 – Análise Destrutiva aos 90 DAS.....	77
4.9 – Emissão da Inflorescência (Início da Floração).....	80
4.10 - Comprimento e Densidade de Frutos do Primeiro Racemo.....	81
4.11 - Peso de 100 Sementes (P <sub>100</sub> ).....	82
4.12 – Análise Destrutiva Final.....	84
4.13 – Evapotranspiração Medida (ETc M).....	89
4.14 – Evapotranspiração Estimada (ETc E).....	92
4.15 – Coeficientes de Cultivo (kc) Obtidos.....	93
4.16 – Fertilidade do Solo ao Final do Experimento.....	94
4.17 – Teores de Macronutrientes nos Tecidos Radiculares e Foliares.....	104
4.18 – Teores de Micronutrientes e Sódio nos Tecidos Radiculares e Foliares.....	113
4.19 – Consumo Total de Água, Eficiência de Uso da Água e Teor de Óleo.....	123
4.20 – Condutividade Elétrica da Água de Drenagem (CE <sub>ad</sub> ) e Fração de Lixiviação (FL).....	127
<b>5 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>129</b>
<b>6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>130</b>
<b>7 – APÊNDICES.....</b>	<b>142</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1	Recomendações de adubação química (kg ha <sup>-1</sup> ) para N, P e K na cultura da mamona..... 9
2	Exigências de algumas culturas com relação ao clima, solo e água..... 13
3	Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade..... 15
4	Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação..... 17
5	Características dos efluentes domésticos secundários..... 18
6	Tipos de reúso não potável e suas respectivas finalidades..... 19
7	Aumento de produtividade agrícola (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) mediante a irrigação com água de esgotos domésticos..... 21
8	Densidades usuais de organismos patogênicos de contaminação em esgotos sanitários..... 25
9	Diretrizes recomendadas para a qualidade microbiológica das águas residuárias utilizadas na agricultura..... 26
10	Critérios de qualidade recomendados pela USEPA para reúso de águas residuárias na agricultura..... 27
11	Períodos de sobrevivência de alguns agentes patogênicos a 20 – 30 °C..... 27
12	Concentrações máximas de elementos químicos nas águas a serem utilizadas para irrigação..... 30
13	Fatores que afetam a seleção do método de irrigação e medidas necessárias quando se utilizam águas residuárias..... 31
14	Custos de poluição (R\$ milhões) evitados com adição de diversas quantidades de biodiesel..... 34
15	Principais características das cultivares BRS Nordeste e BRS Paraguaçu..... 36
16	Características físico-hídricas e químicas do solo. Campina Grande – PB, 2006..... 39
17	Características químicas do solo antes e após a calagem e a adubação. Campina Grande – PB, 2006..... 40
18	Características físico-químicas do efluente de esgoto bruto utilizado no experimento. Campina Grande – PB, 2006..... 42
19	Características físico-químicas e microbiológicas do efluente de esgoto bruto. Campina Grande – PB, 2006..... 42
20	Coefficientes de cultivo (kc) da mamoneira adotados para estimativa da ETc..... 45
21	Radiação solar (Q <sub>o</sub> ), em equivalente de evaporação, expressa em mm dia <sup>-1</sup> ..... 46
22	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para altura de planta (AP) aos 48, 90, 132 e 174 dias após a semeadura. Campina Grande - PB, 2006..... 54
23	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para diâmetro caulinar (DC) aos 48, 90, 132 e 174 dias após a semeadura. Campina Grande - PB, 2006..... 56
24	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para número de folhas (NF) aos 48, 90, 132 e 174 dias após a semeadura. Campina Grande - PB, 2006..... 58

25	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para área foliar (AF) aos 48, 90, 132 e 174 dias após a semeadura. Campina Grande - PB, 2006.....	61
26	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para taxa de crescimento absoluto da altura (TCA Alt.) em quatro períodos (27-48, 48-90, 90-132 e 132-174 dias após a semeadura). Campina Grande - PB, 2006.....	63
27	Desdobramento das interações significativas e médias das cultivares para TCA Alt.48-90DAS e TCA Alt.90-132DAS. Campina Grande – PB, 2006.....	64
28	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para taxa de crescimento relativo da altura (TCR Alt) em quatro períodos (27-48, 48-90, 90-132 e 132-174 dias após a semeadura). Campina Grande - PB, 2006.....	66
29	Desdobramento das interações significativas e médias das cultivares para TCR Alt.90-132DAS. Campina Grande – PB, 2006.....	68
30	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para taxa de crescimento absoluto do diâmetro caulinar (TCA D) em quatro períodos (27-48, 48-90, 90-132 e 132-174 dias após a semeadura). Campina Grande - PB, 2006.....	69
31	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para taxa de crescimento relativo do diâmetro caulinar (TCR D) em quatro períodos (27-48, 48-90, 90-132 e 132-174 dias após a semeadura). Campina Grande - PB, 2006.....	71
32	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para condutância estomática (gs) aos 95 e 125 dias após a semeadura-DAS. Campina Grande - PB, 2006.....	73
33	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para fluorescência Fo, Fm, Fv, Fv/Fm e Fv/Fo aos 85 dias após a semeadura-DAS. Campina Grande –PB, 2006.	76
34	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para fitomassa de raízes (FR), fitomassa da parte aérea (FPA) e relação raiz parte aérea (R/PA) aos 90 dias após a semeadura-DAS. Campina Grande - PB, 2006.....	79
35	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para os componentes do primeiro racemo, emissão da inflorescência, comprimento, densidade e peso de 100 sementes. Campina Grande – PB, 2006.....	83
36	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para número de racemos por planta (NR), N° de frutos por planta (N° Frts.), fitomassa de raízes (FR), fitomassa da parte aérea (FPA), relação raiz parte aérea (R/PA) e produção de bagas (PB), aos 174 dias após a semeadura-DAS. Campina Grande – PB, 2006.....	88
37	Resumos das análises de variância e médias para ETc em quatro períodos 21-48, 49-90, 91-132 e 133-174 dias após a semeadura-DAS. Campina Grande – PB, 2006.....	91
38	Fator de correção (FC) obtido para a equação da Samani-Hargreaves. Campina Grande – PB, 2006.....	92
39	Coefficientes de cultivo (kc) da mamoneira obtidos em ambiente protegido. Campina Grande – PB, 2006.....	94
40	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para fertilidade do solo (0-20 cm), aos 174 dias após a semeadura (N, P, K, Ca, Mg e Na extraíveis). Campina Grande – PB, 2006.....	100
41	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para fertilidade do solo (0-20cm), aos 174 dias após a semeadura (pH e CEs). Campina Grande – PB, 2006.....	104

42	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para macronutrientes (N-P-K-Ca-Mg-S) nos tecidos radiculares e foliares, aos 174 dias após a semeadura. Campina Grande – PB, 2006.....	111
43	Desdobramento das interações significativas e médias das cultivares para o teor de $Ca^{++}$ nas raízes e teor de $Mg^{++}$ nas folhas. Campina Grande – PB, 2006.....	113
44	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para micronutrientes e sódio (Cl-Fe-Zn-Cu-Mn-Na) de tecidos radiculares e foliares aos 174 dias após a semeadura. Campina Grande – PB, 2006.....	120
45	Desdobramento das interações significativas e médias das cultivares para o teor de $Na^{+}$ nas raízes. Campina Grande – PB, 2006.....	122
46	Resumos das análises de variância e médias das cultivares para consumo total de água-C.T.A., eficiência de uso de água-E.U.A. e teor de óleo. Campina Grande- PB, 2006....	126
47	Médias da condutividade elétrica da água de drenagem (CEad) e da fração de lixiviação (FL) durante o período experimental.....	128

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Médias mensais de temperatura, radiação solar ( $Q_0$ ) e evapotranspiração de referência (ET <sub>0</sub> ) estimada pelo método de Samani-Hargreaves. Campina Grande – PB, 2006.....	36
2 Lisímetro de drenagem com capacidade de 100 L. Campina Grande – PB, 2006.....	37
3 Curva característica de retenção de água do solo. Campina Grande - PB, 2006.....	38
4 Poço para recalque da água de esgoto e bomba submersa (A) e reservatório de armazenamento (B). Campina Grande - PB, 2006.....	41
5 Curva do coeficiente de cultivo (kc) adotada na estimativa da ET <sub>c</sub> da mamoneira em função dos dias após semeadura-D.A.S. Campina Grande - PB, 2006.....	45
6 Altura de plantas de mamoneira aos 48 e 90 dias após a semeadura – DAS (A), aos 132 e 174 DAS (B), variação temporal por nível de reposição (C) e por cultivar (D). Campina Grande - PB, 2006.....	55
7 Diâmetro caulinar de plantas de mamoneira aos 48, 90, 132 e 174 dias após a semeadura – DAS (A), variação temporal por nível de reposição (B) e por cultivar (C), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	57
8 Número de folhas da mamoneira aos 48 e 90 dias após a semeadura – DAS (A), aos 132 e 174 DAS (B), variação temporal por nível de reposição (C) e por cultivar (D), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	59
9 Área foliar da mamoneira aos 48 e 90 dias após a semeadura – DAS (A), aos 132 e 174 DAS (B), variação temporal por nível de reposição (C) e por cultivar (D), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	61
10 Taxa de crescimento absoluto da altura da mamoneira (TCA Alt.) em quatro períodos, 27-48 (A), 48-90 (B), 90-132 (C) e 132-174 dias após a semeadura-DAS (D) e a evolução ao longo do tempo (E), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	65
11 Taxa de crescimento relativo da altura da mamoneira (TCR Alt.) em quatro períodos, 27-48 (A), 48-90 (B), 90-132 (C) e 132-174 dias após a semeadura-DAS (D) e a evolução ao longo do tempo (E), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	67
12 Taxa de crescimento absoluto do diâmetro caulinar da mamoneira (TCA D) em quatro períodos 27-48 (A), 48-90 (B), 90-132 (C) e 132-174 dias após a semeadura-DAS (D) e a evolução ao longo do tempo (E), em função do nível de reposição da evapotranspiração (Em C e D, dados transformados em $[x+1]^{1/2}$ ). Campina Grande - PB, 2006.....	70
13 Taxa de crescimento relativo do diâmetro caulinar da mamoneira (TCR D) em quatro períodos 27-48 (A), 48-90 (B), 90-132 (C) e 132-174 dias após a semeadura-DAS (D) e a evolução ao longo do tempo (E), em função do nível de reposição da evapotranspiração (Em C e D, dados transformados em $[x+1]^{1/2}$ ). Campina Grande - PB, 2006.....	72
14 Condutância estomática (gs) aos 95 e 125 dias após a semeadura-DAS, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	74

15	Fluorescências basal 'Fo' (A), máxima 'Fm' (B) e variável 'Fv' (C), eficiência quântica do fotossistema II 'Fv/Fm' (D) e relação 'Fv/Fo' (E) aos 85 dias após a semeadura-DAS, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	76
16	Fitomassa de raízes e da parte aérea (A) e relação raiz parte aérea (B) aos 90 dias após a semeadura-DAS, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	80
17	Componentes do primeiro racemo, emissão da inflorescência (A), comprimento (B), densidade de frutos (C) e peso de 100 sementes - P100 (D), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	83
18	Nº de racemos (A) e frutos (B), fitomassa de raízes (C) e da parte aérea (D), relação raiz parte aérea (E) e produção de bagas (F) aos 174 dias após a semeadura-DAS, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	89
19	Evapotranspiração da cultura (ETc) em quatro períodos (A e B) e variação temporal (C e D), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	91
20	Evapotranspiração da cultura (ETc) medida e estimada durante o período experimental. Campina Grande - PB, 2006.....	93
21	Coefficientes de cultivo (kc) da mamoneira obtidos em ambiente protegido em quatro períodos. Campina Grande - PB, 2006.....	94
22	Fertilidade do solo (0-20 cm) aos 174 dias após a semeadura (N, P, K, Ca, Mg e Na extraíveis), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	101
23	Fertilidade do solo (0-20 cm) aos 174 DAS (pH e CEs), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	104
24	Teor de macronutrientes nos tecidos radiculares e foliares da mamoneira, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	112
25	Teor de micronutrientes e sódio nos tecidos radiculares e foliares da mamoneira, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	121
26	Planta da cultivar BRS Paraguaçu com sintomas de deficiência de zinco e cobre. Campina Grande - PB, 2006.....	122
27	Consumo total de água - C.T.A. (A), eficiência de uso de água - E.U.A. (B) e teor de óleo nas sementes (C) , em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006.....	127

**LISTA DE APÊNDICES**

Figura	Página
A1 Vista parcial aos 21 DAS (A) e aos 71 DAS (B), início da floração (C), racemo da cultivar BRS Nordestina (D) e da BRS Paraguaçu (E). Campina Grande - PB, 2006.....	142
A2 Vista parcial aos 90 DAS (A) por ocasião da primeira coleta de plantas. Campina Grande - PB, 2006.....	142

Tabela	Página
A1 Planilha eletrônica para manejo das irrigações. Campina Grande – PB, 2006.....	143

## RESUMO

NÍVEIS DE REPOSIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA MAMONEIRA  
IRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA

No nordeste brasileiro a mamoneira (*Ricinus communis* L) é, atualmente, considerada cultura alternativa para produção de biodiesel e para desenvolver não só a economia regional, mas logicamente a economia nacional. Conduziu-se entre novembro de 2005 e maio de 2006, um experimento em ambiente protegido, na área experimental do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais do Departamento de Engenharia Agrícola da UFCG-PB. Propôs-se estudar os efeitos e o potencial da água residuária de esgoto doméstico em relação ao crescimento, desenvolvimento e produção da mamoneira, além das propriedades químicas do solo e a nutrição da planta. A cultura foi conduzida durante seis meses, em lisímetros de drenagem contendo 100 kg de solo, classificado como Argissolo Eutrófico e se adotou o delimitamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5x2 com 3 repetições; cada repetição foi representada por 2 plantas cultivadas em lisímetros separados até os 90 dias após a semeadura, quando então se fez uma análise destrutiva; a partir deste momento cada parcela foi representada por apenas uma planta. Adotaram-se 5 níveis de reposição da evapotranspiração (0,60, 0,75, 0,90, 1,05 e 1,20 ETc) e 2 cultivares (BRS Paraguaçu; BRS Nordestina). As irrigações eram realizadas a cada 2 dias. O aporte de nutrientes da água residuária contribuiu para o crescimento e desenvolvimento da planta, com melhora no pH, na eficiência de uso de água (kg bagas m<sup>-3</sup> de água) e no teor de óleo, mas foi insuficiente para a promoção de produções em níveis de adubação. A aplicação contínua de água residuária com CE de 1,40 dS m<sup>-1</sup> e relação de adsorção de sódio - RAS de 3,55 (mmol L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup>, utilizada neste trabalho pode, ao longo do tempo, causar problemas de infiltração no solo, decorrente da sodicidade. A mamoneira irrigada com 60 % da evapotranspiração teve a altura de planta, o diâmetro caulinar, o número de folhas e a área foliar reduzidos em 32,47, 25,67, 47,41 e 105,00%, respectivamente. A cultivar BRS Paraguaçu teve crescimento em altura significativamente maior ao longo do ensaio. Os teores de micronutrientes e sódio (Na) nos tecidos radiculares foram significativamente maiores na cultivar BRS Nordestina. Devido à redistribuição para a parte aérea, as folhas da mamoneira contiveram maiores teores de macronutrientes que nas raízes.

**Palavras-chave:** reúso, *Ricinus communis* L., estresse hídrico, esgoto doméstico

## ABSTRACT

LEVELS OF REPOSITION OF EVAPOTRANSPIRATION OF CASTOR BEAN  
IRRIGATED WITH WASTEWATER

The castor bean crop (*Ricinus communis* L.) in the Northeast of Brazil is nowadays considered as an alternative to produce biodiesel, and to develop the economy of the region and consequently the economy of the country. During November, 2005 and May, 2006 an experiment was installed at the greenhouse of the Agricultural Engineering Department in the Federal University of Campina Grande, PB. The objective of this research was to study the effects and the potential of domestic wastewater on growth, development, production and nutrition of the plant as well as the soil chemical properties at the end of research. The plants grown in drainage lysimeters with 100 kg of soil Eutrophic Argisil during six months. The experimental design was in randomized block in 5x2 factorial scheme with 3 replications; each replication represented by mean of 2 plants during 90 days after sowing when a destructive analysis was made. After this period each plot was represented by one plant. 5 levels of reposition of the crop evapotranspiration - ETC were tested (0.60, 0.75, 0.90, 1.05 and 1.20 ETC) and 2 cultivars, BRS Nordeste and BRS Paraguaçu. The repositions of water were accomplished every 2 days. Contribution of nutrients through wastewater favored the growth and development of plants, with improvements in the pH and water use efficiency (kg seeds/m<sup>3</sup> water) and the oil content in the seeds, but was not enough to increase the production in levels of mineral fertilization. Continuous application of domestic wastewater, with EC 1.40 dS m<sup>-1</sup> and sodium adsorption relationship - SAR 3.55 (mmol L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup>, used in this research, along the time, can damage the structure and infiltration of water in the soil because of sodium. Castor bean irrigated with 60% of evapotranspiration had plant height, stem diameter, number of leaves and leaf area reduced in 32.47, 25.67, 47.41 and 105.00%, respectively. The BRS Paraguaçu had plant height significantly higher than the growth of BRS Nordeste, along the research. Under application of wastewater, all concentrations of micronutrients (Cl, Fe, Zn, Cu, Mn and Na) contained in the roots were significantly higher in BRS Nordeste than the other one. Due to the redistribution for shoot, the leaves of the castor bean contain larger rates of macronutrients than the roots.

**Key-words:** reuse, *Ricinus communis* L., water stress, domestic sewerage

## **1 - INTRODUÇÃO**

As atividades antrópicas têm alterado, de forma cada vez mais agressiva, o ciclo natural de renovação dos recursos hídricos reduzindo a pequena parcela de água potável que cobre o planeta. A distribuição irregular de água doce no mundo e sua conseqüente escassez natural, em certas regiões agravada pela poluição, pelo crescimento demográfico e devido ao uso desordenado dos recursos naturais, fazem dela um bem cada dia mais imprescindível para a sobrevivência do homem na terra (SANTOS, 2004). Ante este cenário, tornam-se urgentes alternativas que contribuam para o consumo racional e sustentável do recurso água, destacando-se o uso de águas residuárias de esgoto na agricultura.

As demandas por água estão aumentando rapidamente, com 70 a 80 % exigidos para a irrigação, menos de 20 % para a indústria e apenas 6 % para consumo doméstico. Na medida em que as populações e as atividades econômicas crescem, muitos países estão atingindo rapidamente condições de escassez de água ou se defrontando com limites para o desenvolvimento econômico (AGENDA 21, 1992).

Normalmente, os padrões de qualidade para águas de irrigação são menos restritivos quando comparados com os de outros usos que exigem maior potabilidade. Deste modo, para águas de irrigação são necessários tratamentos menos dispendiosos e mais simples (VAZQUEZ-MONTIEL, HORAN & MARA, 1996; HESPANHOL, 2002).

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 reúso de esgotos, as limitações do reúso agrícola e também pelas suas inegáveis vantagens, como controle da poluição ambiental, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola; além disso, o interesse pelo reúso planejado, ou seja, aquele 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).

A aplicação de efluentes na agricultura, gerados em sistemas de tratamento por meio de lagoa de estabilização, já é prática comum em muitos países, fazendo parte de programas governamentais de irrigação e gestão de recursos hídricos, como é o caso de Israel, Egito, Austrália, Arábia Saudita, Tunísia e Chile (PESCOD, 1992).

No Brasil, embora a prática do reúso de águas servidas ainda seja pequena, registram-se vários exemplos de utilização de esgotos sanitários em irrigação, em geral de

forma espontânea e não controlada (BASTOS, 2003); nos anos recentes, o reúso de águas vem sendo amplamente discutido em workshops, encontros e congressos nacionais.

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 o desenvolvimento 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).

Existem também riscos potenciais da irrigação com esgotos, os quais não podem ser ignorados. Entre os possíveis efeitos negativos do reúso 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 (LEÓN SUEMATSU & CAVALLINI, 1999).

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 meteorológicos. São diversos os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, sendo a escolha do método baseada, principalmente, no tipo de dado disponível em estações meteorológicas e na precisão requerida para determinação das necessidades hídricas das culturas (SEDIYAMA, 1987).

Urge a necessidade de se atender ao trinômio oferta de água, qualidade ambiental e geração de renda. Uma das possibilidades para se aumentar a produção agrícola é a expansão das terras cultivadas. A mamoneira (*Ricinus communis* L.) poderá ser uma opção agrícola para as áreas irrigadas do Nordeste, que dispõe de centenas de municípios zoneados (BELTRÃO et al, 2002).

O uso de óleo de mamona para produção de biodiesel é uma das alternativas brasileiras para redução da importação de petróleo e da emissão de poluentes e gases de "Efeito Estufa" na atmosfera. A demanda para o óleo de mamona proporcionará o aumento das áreas agrícolas exploradas com a cultura que é adaptada às condições semi-áridas, gerando milhares de postos de trabalho, diretos e indiretos (BELTRÃO et al., 2002). O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) lançado em 2004 tem como princípios básicos promover a inclusão social e a redução de disparidades regionais e diminuir

a dependência dos combustíveis fósseis (1º ANUÁRIO BRASILEIRO DO BIODIESEL, 2007).

Em médio prazo, o biodiesel pode tornar-se importante fonte de divisas para o Brasil, somando-se ao álcool como combustível renovável que o País pode e deve oferecer à comunidade mundial. Neste contexto, a planta da mamoneira, em virtude de possuir ciclo longo e por ser explorada como cultura industrial, cujos produtos e co-produtos não são diretamente usados na alimentação humana, tem grande potencialidade para ser cultivada com uso de águas de qualidade inferior.

A demanda energética mundial precisa ser atendida; entretanto, as fontes convencionais estão em vias de esgotamento, além de provocarem efeitos ambientais agressivos e atentando-se para esses aspectos, tem-se pesquisado fontes energéticas renováveis, destacando-se a mamoneira como excelente alternativa (AZEVEDO et al., 1997). No Brasil com a busca de alternativas energéticas para diminuir a dependência externa de petróleo, o biodiesel surge como uma possível solução.

### **1.1 – Objetivo Geral**

- Avaliar o crescimento, o desenvolvimento fenológico e fisiológico e a capacidade produtiva da mamoneira irrigada com água residuária de esgoto doméstico submetida a diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, em ambiente protegido.

### **1.2 – Objetivos Específicos**

Ao se irrigar a mamoneira com diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, em ambiente protegido, procurou-se:

- Estudar os efeitos da irrigação com água residuária sobre as variáveis de crescimento e sobre as variáveis fisiológicas da planta.

- Avaliar o efeito da irrigação sobre os componentes de produção.

- Avaliar o impacto da água residuária sobre o solo e sobre o aspecto nutricional da mamoneira, ao final do experimento.

- Determinar as necessidades hídricas (coeficientes de cultivo e evapotranspiração) e a eficiência de uso de água da mamoneira.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - Aspectos Gerais da Mamoneira

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma *Euphorbiaceae* com centro de origem na Etiópia e regiões circunvizinhas na África Tropical; ocorre praticamente em todos os países tropicais e subtropicais, podendo ser silvestre ou cultivada. O início de sua domesticação parece ter ocorrido na península de Anatólia, mais conhecida por Ásia Menor. Os romanos acharam grande semelhança entre a semente de mamona e o carrapato comum (*Ixodes ricinus*). O óleo extraído da semente era utilizado para fins medicinais (cosméticos, proteção da pele e laxativo) e como combustível para iluminação (TÁVORA, 1982). e

A região Nordeste é responsável por 85 % da área plantada com a cultura no País e por mais de 78 % da produção nacional de bagas; entre os anos 1990 e 2000, foram produzidas na região 700 mil toneladas de bagas de mamona, o equivalente a R\$ 350 milhões. Todos os estados Nordestinos são produtores de mamona, exceto Sergipe e Maranhão, que embora possuam áreas com aptidão ao cultivo, não registraram plantios comerciais; o estado da Bahia tem sido historicamente o maior produtor, com mais de 80 % da produção regional (IBGE, 2002). Segundo dados mais recentes deste instituto, publicados por Kouri & Santos (2006), o estado da Bahia é o principal produtor nacional com 182,459 mil hectares colhidos na safra 2004/2005 (82 % da área cultivada no país) e uma produção estimada em 132,324 mil toneladas (82 % da produção nacional), com produtividade média de 725 kg ha<sup>-1</sup>. e

A mamoneira é uma planta rústica, heliófila, resistente à seca, encontrada em diversas regiões do Brasil e conhecida desde a era colonial, quando dela se extraía o óleo para lubrificar as engrenagens e os mancais dos inúmeros engenhos de cana. Conhece-se a mamona sob as denominações de mamoneira, ricino, carrapateira e palma-cristi; na Inglaterra e Estados Unidos, pelo nome de 'castor beans' e 'castor seed'; seu principal produto, o óleo extraído das sementes, possui centenas de aplicações, como por exemplos: fabricação de cosméticos, lubrificantes, aditivos de combustíveis aeroespaciais, indústria de plástico, prótese para ossos humanos etc. (TÁVORA, 1982; BELTRÃO, 2004). e

A mamoneira é uma planta com expressão do sexo complexa, muito variável, dependendo do ambiente e da carga genética de cada genótipo. Há tipos femininos estáveis, femininos instáveis, hermafroditas (que é o normal), com flores separadas, somente masculinas, monóicas comuns e outros. A inflorescência é do tipo panicular, comumente denominada racemo, sendo as flores femininas dispostas na parte superior e as masculinas logo abaixo, na parte inferior da panícula (BELTRÃO et al., 2001). Tem metabolismo e

fotossintético C<sub>3</sub> ineficiente e, normalmente, tem taxa de fotossíntese líquida variando de 18 a 20 mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/hora com atmosfera de 300 mg L<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> e taxa igual a zero em ambientes quando a concentração de CO<sub>2</sub> for abaixo de 100 mg L<sup>-1</sup> (AMORIM NETO, ARAÚJO & BELTRÃO, 2001). As plantas do grupo C<sub>3</sub> têm eficiência de uso de água de no máximo 3,0 g de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O contra 5,0 g do grupo C<sub>4</sub> (milho, sorgo e outras gramíneas) enquanto as plantas CAM (cactos, abacaxis etc).alcançam até 40 g.

A mamoneira é uma planta de hábito arbustivo, com caule ramificado, folhas e racemos (cachos) de diversas colorações, podendo ou não possuir cera no caule e pecíolo. Em geral, os frutos possuem espinhos e, em alguns casos, são inertes; as sementes, produzidas em cápsulas (cada cápsula contém três sementes), são de diferentes tamanhos, formatos e grande variabilidade de coloração; enfim, as folhas são lobadas e de forma variada (TÁVORA, 1982).

## 2.2 – Importância Econômica da Mamoneira

O óleo de mamona ou de rícino, extraído pela prensagem das sementes, contém 90 % de ácido graxo ricinoléico, o que lhe confere características singulares, possibilitando ampla utilização industrial, sendo a base para a obtenção de uma diversificada linha de matérias-primas utilizadas na fabricação de plásticos e plastificantes, fibras sintéticas, tintas, esmaltes, coberturas protetoras, resinas e lubrificantes. A partir da ricinoquímica (química do óleo de mamona) pode-se chegar à geração de outros produtos bem mais sofisticados, como é o caso das próteses humanas e dos produtos farmacêuticos, cosméticos e aeronáuticos; a torta proveniente do óleo é largamente empregada na adubação de culturas comerciais (AMORIM NETO, ARAÚJO & BELTRÃO, 2001).

A fórmula molecular do ácido ricinoléico (C<sub>17</sub>H<sub>32</sub>OH.COOH) tem, em sua composição, uma hidroxila (OH) que confere ao óleo propriedade não encontrada nos demais óleos vegetais, ou seja, a solubilidade em álcool. O óleo tem utilidade só comparável à do petróleo, porém com a vantagem de ser um produto renovável e barato, além de se manter bastante estável nas mais variadas condições de temperatura e pressão (AZEVEDO et al., 1997). Os co-produtos da mamoneira têm amplo espectro de utilização, sendo usados na fabricação de tecidos de nylon, na siderurgia como óleo de corte para laminagem, na indústria para acabamento de peles finas, pinturas e vernizes, perfumaria, cremes, cosméticos e saboarias. O óleo é considerado de grande valor como lubrificante de motores de grande rotação e é usado na aviação; suas qualidades purgativas são utilizadas na medicina (AZEVEDO et al., 1997).

Pires et al. (2004), em estudos sobre o custo de produção de biodiesel a partir do óleo de mamona, sob cenários de produção variando entre 600 e 3000 kg ha<sup>-1</sup>, verificaram que o preço estimado do biodiesel está próximo ao preço do diesel praticado no mercado de Itabuna, no estado da Bahia, maior produtor nacional de mamona.

A torta originada de prensagem e esmagamento das sementes para retirada do óleo é bastante utilizada como fertilizante, constituindo-se em um adubo orgânico rico em nitrogênio que, ao ser incorporado ao solo, tem funcionado como melhorador das propriedades físico-químicas e biológicas do solo, principalmente pela riqueza dos macronutrientes primários presentes na sua constituição (FREIRE, 2001).

O principal uso da torta de mamona tem sido como adubo orgânico, pois usos mais nobres, como alimento animal, ainda dependem de tecnologia industrial não disponível no Brasil momento; a torta de mamona, devido à baixa relação C/N, se mineraliza rapidamente, cerca de sete vezes mais rápido (35 mg de CO<sub>2</sub>/kg de solo) que o esterco bovino (5 mg de CO<sub>2</sub>/kg de solo) e quatorze vezes mais rápido que o bagaço de cana (2,4 mg de CO<sub>2</sub>/kg de solo) (SEVERINO et al., 2004). Dutra et al. (2004), utilizando uma dose de 1000 kg ha<sup>-1</sup> de torta de mamona, obtiveram sucesso no controle do nematóide *Meloidogyne exigua* em cafeeiros da região sul de Minas Gerais.

Como ração animal a torta só pode ser utilizada depois de desintoxicada; a toxidez da torta de mamona é causada pela presença de três substâncias: ricina (uma proteína), ricinina (um alcalóide) e CB-1A (um complexo alergênico). A ricina é uma proteína encontrada exclusivamente no endosperma das sementes de mamona, não sendo detectada em outras partes da planta, como raízes, folhas ou caules; sendo a principal responsável pela toxidez da torta de mamona, estando entre as proteínas de maior toxidez conhecida pelo homem (MOSHKIN, 1986; GARDNER et al., 1960 citados por BANDEIRA et al., 2004).

## 2.3 - Cultivo da Mamoneira

### 2.3.1 - Necessidade Hídrica e Clima

A maior exigência de água da mamoneira ocorre no início da fase vegetativa produzindo, economicamente, em áreas onde a precipitação pluvial mínima, até o início da floração, seja pelo menos 400 mm (AZEVEDO & LIMA, 2001).

O ciclo da mamoneira, quando cultivada em áreas de clima semi-árido ou árido, é de aproximadamente 180 dias, dividido em quatro fases fenológicas do plantio à colheita, sendo assim definidas: inicial (0 a 25 dias), de desenvolvimento (26 a 40 dias), intermediária (41 a 65 dias) e final (65 a 115 dias). O coeficiente de cultivo (kc) para a fase intermediária pode variar de 1,05 a 1,20 em função da umidade relativa do ar e da velocidade do vento, tornando-se constante (0,50) na fase final de cultivo (DOORENBOS & PRUITT, 1997).

De acordo com Amorim Neto, Araújo & Beltrão (2001), a mamoneira necessita de chuvas regulares durante a fase vegetativa e de períodos secos na maturação dos frutos, sendo viável economicamente em áreas onde a precipitação pluvial mínima esteja entre 400 e 500 mm. Beltrão & Silva (1999) indicam que pluviosidades entre 600 e 700 mm resultam em rendimentos superiores a 1500 kg ha<sup>-1</sup>. O plantio deve ser ajustado de forma que a planta receba de 400 a 500 mm até o início da floração (TÁVORA, 1982). Em qualquer período do ciclo da cultura, o excesso de umidade é prejudicial, tornando-se mais crítico nos estádios de plântula, maturação e colheita (AZEVEDO et al., 1997).

As cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu têm potencial de produtividade média variando de 1500 kg ha<sup>-1</sup> em condições de sequeiro, a 5000 kg ha<sup>-1</sup> em condições de irrigação (CARVALHO, 2005).

Amorim Neto, Araújo & Beltrão (2001) atestam ser a mamoneira resistente ao estresse hídrico, uma vez que a cultura produz praticamente o ano inteiro no Nordeste brasileiro, caracterizado por apresentar déficit hídrico, em que a capacidade de armazenamento dos solos permanece abaixo de sua satisfação plena na maior parte do ano em função da elevada demanda evapotranspirométrica, que supera substancialmente o total de chuvas precipitadas.

O fato de ter um sistema radicular robusto e denso, que explora camadas profundas do solo, reforça as indicações da mamona como planta tolerante à seca, em face de sua capacidade de buscar água em profundidades consideráveis, o que também tem contribuído para sua constante inclusão em sistemas que utilizem a rotação de culturas, uma

vez que pode favorecer o desempenho de culturas posteriores que necessitem de camadas mais revolvidas do solo (RAMOS et al., 2006).

Entre as espécies cultivadas economicamente no Brasil, a mamoneira é uma das menos exigentes em clima, solo e manejo cultural (MOREIRA et al., 1996; AZEVEDO et al., 1997; AMORIM NETO, ARAÚJO & BELTRÃO, 2001).

A mamoneira é uma xerófila e heliófila, explorada comercialmente entre as latitudes 40 °N e 40 °S (MELO, BELTRÃO & SILVA, 2003). Para que haja produções com valor comercial, em se tratando de temperatura, o recomendado é que a mesma possa variar entre 20 °C e 30 °C, estando a ótima para a planta em torno de 28 °C; entretanto, seu cultivo é possível em temperaturas de até 33 °C, elevada insolação e a umidade relativa do ar durante a maior parte do ciclo baixa, menor que 60 % (BELTRÃO et al., 2003). Temperaturas superiores a 40 °C provocam aborto das flores, reversão sexual das flores femininas em masculinas e redução do teor de óleo nas sementes. As baixas temperaturas retardam a germinação, prolongando a permanência das sementes no solo, favorecendo o ataque de microrganismos e insetos (TÁVORA, 1982). Fornazieri Júnior (1986), citado por Amorim Neto, Araújo & Beltrão (2001), relata que o teor de óleo das sementes é proporcional à soma do calor recebido pela planta em todo o seu ciclo vegetativo. Segundo o autor, se não houver calor suficiente, a planta reduz a produtividade e a qualidade do óleo nas sementes.

Conforme Carvalho (2005), quando a mamoneira é cultivada em áreas com altitudes inferiores a 300 m ocorre emissão de folhas em excesso e abortamento de flores; e em altitudes superiores a 1500 m, com predominância de temperaturas abaixo de 10 °C, a produção de pólen é comprometida e conseqüentemente, a produção de frutos e sementes. Amorim Neto, Araújo & Beltrão (2001) também ressaltam que o cultivo da mamona é recomendado entre 300 e 1.500 m de altitude; a ocorrência de ventos fortes causa dano aos ramos e compromete a produção de bagas.

Mesmo se adaptando bem às regiões com fotoperíodos curtos, desde que não sejam inferiores a nove horas, ocorrem melhor crescimento, desenvolvimento e produtividade da mamoneira em áreas de boa insolação, com pelo menos doze horas de sol por dia (BELTRÃO & SILVA, 1999; AZEVEDO et al., 1997).

### **2.3.2 - Solo e Adubação**

A mamoneira vegeta e produz bem em qualquer tipo de solo, com exceção daqueles com deficiência de drenagem devido à sua sensibilidade ao excesso de água no solo. As melhores colheitas são obtidas em solos profundos, permeáveis, ricos em matéria orgânica,

sem problemas de drenagem, com boa disponibilidade de nutrientes e topografia suave (CARVALHO, 2005).

A nutrição e a adubação mineral influenciam no processo produtivo mas, se por um lado possibilita aumento de produtividade, por outro os custos financeiros com esta prática são elevados, fazendo-se necessário aperfeiçoar seu uso com a finalidade de obter o maior rendimento com o menor custo possível (CARVALHO, 1998 citado por SEVERINO et al., 2005). O pH ideal para o cultivo da mamoneira varia entre 5,8 e 6,5 (EMATER-CE, 1990), entre 6,0 e 6,5 (CARVALHO, 2005), entre 6,0 e 7,0 (AMORIM NETO, ARAÚJO & BELTRÃO, 2001) ou entre 6,0 e 7,2 (MELO, BELTRÃO & SILVA, 2003).

A adubação da mamoneira deve ser por cova, ao lado das sementes (3 a 5 cm) e mais profunda (5 a 6 cm) com as sementes a 3 cm de profundidade (CARVALHO, 2005). Com relação à adubação mineral da mamoneira usar a Tabela 1; caso o teor de matéria orgânica do solo seja alto, acima de 35,0 g kg<sup>-1</sup>, não aplicar nitrogênio.

**Tabela 1** - Recomendações de adubação química (kg ha<sup>-1</sup>) para N, P e K na cultura da mamona

Teores (mg dm <sup>-3</sup> )		Doses Recomendadas (kg ha <sup>-1</sup> )			
P	K	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	
				Plantio	Cobertura
0-10	0-45	70	50	10	40
11-20	46-90	50	25	10	40
21-30	91-135	20	15	10	40
>30	>135	---	---	10	40

FONTE: Melo, Beltrão & Silva (2003); Carvalho (2005)

### 2.3.3 - Plantio

O sucesso de uma lavoura de mamona está associado à época de semeadura, notadamente em cultivos de sequeiro. A incidência de pragas e doenças está muito relacionada à época de plantio, em especial quando em cultivos tardios. No semi-árido baiano os plantios tardios estão sujeitos à escassez e irregularidade das chuvas, o que causa redução drástica dos rendimentos (CARVALHO, 2005). A época de plantio da mamoneira deverá ser definida de acordo com o zoneamento agroecológico contido em Beltrão et al. (2002).

Para a agricultura familiar no Nordeste recomendam-se cultivares de porte médio (1,7 a 2,0m) e de frutos semi-indeiscentes, como a BRS Nordestina e a BRS Paraguaçu, lançadas pela EMBRAPA em convênio com a Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA). Essas cultivares são de boa rusticidade, resistência a seca, e de boa capacidade de produção, com média de 1.400 kg ha<sup>-1</sup> de baga em condições de cultivo de sequeiro, o equivalente a 631 L óleo ha<sup>-1</sup> (BELTRÃO et al., 2002; BELTRÃO, 2004).

Em sistema consorciado com o feijão caupi, recomendam-se diferentes espaçamentos para as cultivares BRS Nordestina e a BRS Paraguaçu, dependendo da fertilidade do solo, descritos a seguir (MELO, BELTRÃO & SILVA, 2003; CARVALHO, 2005):

Fileiras simples, com uma planta por cova:

Para solos de baixa fertilidade: 2,0m x 1,0m (5.000 plantas ha<sup>-1</sup>) (sem consórcio);

Para solos de média fertilidade: 3,0m x 1,0m (3.333 plantas ha<sup>-1</sup>) + três fileiras de feijão;

Para solos de alta fertilidade: 4,0m x 1,0m (2.500 plantas ha<sup>-1</sup>) + quatro fileiras de feijão.

Fileiras duplas, com uma planta por cova (+ quatro fileiras de feijão caupi dentro do maior espaçamento):

Para solos de baixa fertilidade: 4,0m x 1,0m x 1,0m (4.762 plantas ha<sup>-1</sup>);

Para solos de média fertilidade: 4,0m x 2,0m x 1,0m (3.846 plantas ha<sup>-1</sup>);

Para solos de alta fertilidade: 5,0m x 2,0m x 1,0m (3.400 plantas ha<sup>-1</sup>).

No plantio manual, a mamoneira deverá ser desbastada com solo úmido quando a plântula alcançar de 10 a 12 cm de altura, aos 25-30 dias após o plantio. Recomenda-se deixar uma a duas plantas por cova. O uso de sementes de boa qualidade, com elevado poder germinativo, pode evitar que se faça essa operação, reduzindo, assim, os custos de produção (EMATER-CE, 1990).

A mamoneira, tanto isolada quanto consorciada, é muito sensível à competição pelas plantas daninhas, sendo crítico o período que vai da emergência aos 70 dias do ciclo, tempo usual para o início da formação de cachos, devendo-se, neste período, manter o campo livre de plantas daninhas (BELTRÃO et al., 2003).

### 2.3.4 - Colheita

A colheita deve ser procedida quando 2/3 dos frutos do cacho estiverem maduros ou secos, prolongando-se por mais três ou quatro repasses, em função da maturação progressiva dos cachos. Os racemos devem ser cortados na base, depositados em cestas ou sacos e levados ao terreiro para secagem (BELTRÃO et al., 2003).

## 2.4 - Evapotranspiração e Coeficiente de 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 e 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, PEREIRA & RAES, 1998).

Doorenbos & Kassam (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. De acordo com Doorenbos & Kassam (1979), 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.

Conforme Allen, Smith & Pereira (1994), a evapotranspiração é 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 da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>).

Um dos procedimentos utilizados para estimativa das necessidades de água das culturas envolve a determinação de ET<sub>o</sub>, a qual, mediante a utilização de coeficiente de cultura (k<sub>c</sub>) apropriado permite estimar a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), nos diferentes estágios de seu desenvolvimento vegetativo (SEDIYAMA, 1987).

Segundo Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) os métodos para estimativa da ET<sub>o</sub> podem ser classificados da seguinte forma: a) Empíricos: tanque Classe A, Thornthwait, Camargo, Makking, Radiação solar, Jensen-Haise, Linacre, Hargreaves-Samani e Blaney-Cridle; b) Balanço de Energia: Razão de Bowen e Priestley-Taylor; c) Aerodinâmico: Correlação dos turbilhões; d) Combinados: Penman Slatyer & Mc Ilroy; Penman simplificado e Penman Moteith. Esses métodos determinam a ET<sub>o</sub> a partir de fórmula empírica ou semi-empírica. A opção por um ou outro método, dependerá, na maioria das vezes, da precisão requerida ou do tipo de dado climatológico disponível, uma vez que nenhum deles parece desfrutar de preferência absoluta.

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. Nesse sistema solo - planta - atmosfera, 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).

Jayakumar et al. (1987) utilizando uma bateria de lisímetros de pesagem na Índia durante o período seco, determinaram a necessidade hídrica do coqueiro irrigado, encontrando valores diários entre 2,1 a 4,1 mm dia<sup>-1</sup>.

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  $3,8 \pm 1,1$  mm dia<sup>-1</sup> e no segundo ciclo o consumo hídrico da cultura foi de 880 mm o que correspondeu a um valor médio de  $4,0 \pm 1,2$  mm dia<sup>-1</sup>.

Teixeira et al. (2003) também 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  $4,53 \pm 0,68$  mm.dia<sup>-1</sup>.

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) consideram o método de Penman-Monteith como padrão para o cálculo da evapotranspiração de referência (ALLEN, PEREIRA & RAES, 1998).

O coeficiente de cultura (kc) é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura (ETc), sob condições de não estresse hídrico, e a evapotranspiração de referência (ETo). 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 (CLARK et al., 1996).

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

## **2.5 – Eficiência de Uso de Água (E.U.A.)**

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 & Kassam (1994) a 'E.U.A.' refere-se a uma variável de rendimento total da colheita por unidade de água utilizada (kg m<sup>-3</sup>) 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. Na Tabela 2 se apresentam as exigências de algumas culturas e as respectivas eficiências de utilização de água.

**Tabela 2** – Exigências de algumas culturas com relação ao clima, solo e água

Cultura	Ciclo (dias)	Temperatura ótima (°C)	Sensibilidade à salinidade	Necessidade hídrica (mm)	Eficiência de utilização de água (kg m <sup>-3</sup> )
Abacaxi	365	22-26	---	700-1000	5-10
Algodão	150-180	20-30	Tolerante	700-1300	0,4-0,6 (em caroço)
Amendoim	90-140	22-28	Moderadamente sensível	500-700	0,6-0,8 (noz seca)
Arroz	90-150	22-30	Moderadamente sensível	350-700	0,7-1,1 (arroz em casca)
Cana-de-açúcar	270-365	22-30	Moderadamente sensível	1500-2500	5-8
Citros	240-365	23-30	Sensível	900-1200	2-5
Feijão verde	60-90	15-20	Sensível	300-500	1,5-2,0
Feijão	90-120	15-20	Sensível	300-500	0,3-0,6
Milho	100-140	24-30	Moderadamente sensível	500-800	0,8-1,6
Soja	100-230	20-25	Moderadamente tolerante	450-700	0,4-0,7
Tomate	90-140	18-25	Moderadamente tolerante	400-600	10-12
Uva	180-270	20-25	Moderadamente sensível	500-1200	2-4
<b>Mamoneira</b>	<b>180-250</b>	<b>20-30</b>	<b>Sensível<sup>1</sup></b>	<b>500-800</b>	<b>0,2-0,3<sup>2</sup></b>

FONTES: Adaptado de Doorenbos & Kassam (1994); <sup>1</sup>Cavalcanti (2003); Silva (2004)

<sup>2</sup>Produtividade de 1.500 kg ha<sup>-1</sup> e disponibilidade hídrica de 500-800 mm (BELTRÃO et al., 2002; CARVALHO, 2005)

## 2.6 - Qualidade da Água na Agricultura: Aspectos Gerais

Quando da 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 (AYERS & WESTCOT, 1999).

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 & WESTCOT, 1999). Tal necessidade exige conhecimento prévio, não só de suas propriedades mas também dos efeitos e riscos à saúde e ao meio ambiente.

Em geral, 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). O referido autor considera que, para culturas sensíveis o máximo recomendado de cloretos na água de irrigação é  $210 \text{ mg L}^{-1}$ . De acordo com USEPA (1992) e Crook (1993) citado por Mancuso & Santos (2003), teores de  $99 \text{ mg L}^{-1}$  de cloretos na água de irrigação não acarretam qualquer efeito prejudicial, enquanto teores acima de  $351 \text{ mg L}^{-1}$  podem causar problemas graves.

Normalmente, 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, RAVINA & SHALHEVET, 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 & WESTCOT, 1999; MANCUSO & SANTOS, 2003).

### **2.6.1 - Qualidade da Água de Irrigação**

Em uma avaliação qualitativa, 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 California Committee of Consultants - UCCC) e por Ayers & Westcot (1999), conforme apresentado na Tabela 3.

Medeiros & Gheyi (1994) enfatizam a necessidade do desenvolvimento de um sistema de classificação de água, próprio para as condições brasileiras, como medida para se ter um prognóstico seguro de seu efeito quando usada em irrigação; enquanto isto não ocorre, sugerem que, para classificação quanto à salinidade, seja utilizada a proposição do UCCC citada em Pizarro (1985), por não ser tão conservadora como a de Richards (1977) e tampouco genérica, como a de Ayers & Westcot (1999).

**Tabela 3** - Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade

Classe de salinidade	RICHARDS (1977)	UCCC <sup>1</sup>	Risco de salinidade	AYERS & WESTCOT (1999)	
	Faixas de CE <sub>ai</sub> (dS m <sup>-1</sup> )			Faixas de CE <sub>ai</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	Risco de salinidade
C <sub>1</sub>	< 0,25	< 0,75	Baixo	< 0,70	Nenhum
C <sub>2</sub>	0,25 – 0,75	0,75 – 1,50	Médio	0,70 – 3,00	Moderado
C <sub>3</sub>	0,75 – 2,25	1,50 – 3,00	Alto	> 3,00	Severo
C <sub>4</sub>	> 2,25	> 3,00	Muito alto	-	-

FONTE: Ayers & Westcot (1999)

<sup>1</sup> UCCC - University of California Committee of Consultants

Os sais são adicionados à água através do uso doméstico e industrial; as quantidades adicionadas diferem entre as localidades, podendo variar entre 100 e 800 mg L<sup>-1</sup>; em geral, dentro de uma mesma localidade, as variações são pequenas e, em alguns casos, mesmo em concentrações relativamente baixas, os sais adicionados são suficientes para alterar a qualidade da água de aceitável para questionável, do ponto de vista agrícola (FEIGIN, RAVINA & SHALHEVET, 1991).

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

Três são os principais aspectos relacionados à composição dos efluentes que, segundo Feigin, Ravina & Shalhevet (1991), constituem riscos de salinização e sodificação de solos quando utilizados como água na agricultura:

(i) a concentração total de sais na água pode causar aumento da salinidade do solo;

(ii) as concentrações de certos íons, como  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , podem causar, direta ou indiretamente, efeitos tóxicos às plantas, incluindo desequilíbrio nutricional;

(iii) as concentrações de certos íons (principalmente  $\text{Na}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$ ) podem resultar na deterioração da estrutura do solo e, conseqüentemente, na redução da permeabilidade.

O acúmulo de sódio, cloro ou boro em cultivos sensíveis a altas concentrações desses elementos, causa danos às plantas e redução da produtividade (AYERS & WESTCOT, 1999). Alguns constituintes isolados, como o boro, são tóxicos, mesmo em pequenos teores, como por exemplo,  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ . O boro é necessário em quantidades relativamente pequenas e se torna tóxico quando ultrapassa tais níveis. Para algumas culturas, por exemplo, se o nível essencial de boro na água é de  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ , as concentrações de  $1,0$  a  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$  são tóxicas. Os sintomas de toxicidade na maioria das culturas surgem quando a concentração foliar de boro excede  $250$  a  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  de matéria seca; surgindo, geralmente, manchas amarelas ou secas nas bordas e ápices das folhas mais velhas (AYERS & WESTCOT, 1999).

As diretrizes para avaliar a qualidade da água para irrigação se encontram na Tabela 4. O estado da Califórnia, Estados Unidos, foi o pioneiro na implantação de programas, critérios e diretrizes básicas para a aplicação de esgotos tratados em solos agrícolas (SOUZA, 2006).

**Tabela 4** - Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação

Problema Potencial	Grau de Restrição para Uso		
	Nenhum	Ligeiro e Moderado	Severo
<b>Salinidade</b>			
CEai (dS m <sup>-1</sup> ; mmhos cm <sup>-1</sup> )	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
SDT (mg L <sup>-1</sup> )	< 450	450 – 2000	> 2000
<b>Toxicidade de Íons Específicos</b>			
<b>Cloreto (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>			
Irrigação por superfície	< 3,0	3,0 – 9,0	> 9,0
Irrigação por aspersão	< 3,0	> 3,0	---
<b>Boro (mg L<sup>-1</sup>)</b>	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
<b>Sódio</b>			
Irrigação por superfície [RAS: (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup> ]	< 3,0	3,0 – 9,0	> 9,0
Irrigação por aspersão (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	< 3,0	> 3,0	---
<b>Nitrogênio N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg L<sup>-1</sup>)</b>	< 5,0	5,0 – 30,0	> 30,0

FONTE: Ayers & Westcot (1999)

Tem-se na Tabela 5, as características dos efluentes domésticos secundários quanto à sua constituição; em geral, a irrigação com esgotos sanitários traz 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 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (FEIGIN, RAVINA & SHALHEVET, 1991).

**Tabela 5** - 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, Ravina & Shalhevet (1991)

## 2.7 - Uso de Águas Residuárias na Agricultura

Atualmente, cresce a importância do uso racional da água; no entanto, pouco ainda se tem registrado sobre a utilização direta de efluentes, tratados ou não, na agricultura. De acordo com Andrade Neto (1992) citado por Bastos (2003), há diversos exemplos de utilização espontânea de esgotos tratados ou não no Nordeste do País, incluindo o plantio de milho, melancia, abóbora e capim para alimentação animal, mas a utilização indireta de esgotos sanitários no Brasil com certeza é prática corrente, haja vista a quase inexistência de tratamento de esgotos no País. Além disso, vários estudos sobre a qualidade de águas de irrigação ou de hortaliças comercializadas em diversas regiões do Brasil há muito reforçam os indícios da prática disseminada de irrigação com água de esgotos, ao menos de forma indireta (BASTOS, 2003).

Na Tabela 6, se apresentam alguns tipos de reutilização de efluentes e suas respectivas finalidades.

**Tabela 6** – Tipos de reúso não potável e suas respectivas finalidades

<b>Tipo de reúso</b>	<b>Finalidades</b>
Agricultura	- Irrigação de culturas regionais - Irrigação de áreas de pastagens
Pecuária	- Dessedentação de animais
Recreação e público	- Irrigação de parques - Campo esportivo - Lagoas ornamentais
Indústria	- Torre de resfriamento - Troca de calor - Caldeira
Diluição de esgotos	- Manutenção de vazões mínimas de cursos de água nas condições de lançamento
Doméstico	- Descarga sanitária - Lavagem de carro - Área verde de condomínio
Aqüicultura	- Produção de peixes e camarões - Plantas aquáticas
Recarga de aquíferos	- Complementação do nível de aquíferos em região litorânea

FONTE: Sousa & Leite (2003)

De acordo com Mancuso & Santos (2003), os esgotos domésticos quando tratados, podem ser usados para fins potáveis e não potáveis, sendo que a reutilização para fins não potáveis é a mais indicada por ser mais simples, ter menos custo e oferecer menos riscos à saúde; desta forma, as características químicas, físicas e biológicas do efluente produzido durante o tratamento do esgoto, definirão a finalidade de uso da água.

As culturas industriais como a mamoneira, o algodoeiro, as forrageiras, milho e alfafa não requerem efluentes de alta qualidade mas estão sendo irrigadas com águas tratadas. A irrigação dessas culturas com águas residuárias brutas pode ser de pouco risco, em virtude de se tratar de produtos industrializados, porém se constitui num risco para os trabalhadores.

No Peru, a agricultura é a principal atividade desenvolvida com uso de águas residuárias. O maior risco do uso dessas águas não tratadas é a irrigação de hortaliças (cebola, espinafre, manjeriço, acelga, salsa, coentro, alface, couve, couve-flor, pimentão e tomate), como é o caso dos 3.078 ha situados nos arredores de Lima (LEÓN SUEMATSU & CAVALLINI, 1999).

Em 1991, o Ministério da Agricultura do Peru iniciou o Programa Nacional de Irrigação com águas residuárias tratadas, cujo objetivo era ampliar a fronteira agrícola da costa em 18.000 ha irrigados, usando-se  $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  do esgoto produzido nas principais cidades da costa peruana (LEÓN SUEMATSU & CAVALLINI, 1999).

Quando as águas residuárias domésticas são lançadas sem tratamento prévio em rios e lagos, esses corpos receptores são contaminados com altas concentrações de vírus,

bactérias, protozoários e helmintos, os quais podem gerar graves problemas para a saúde pública. O manejo inadequado das águas residuárias veicula enfermidades virais, bacterianas e parasitárias, como diarréias, febre tifóide, paratifóide, cólera, hepatite infecciosa, amebíase, giardíase, etc. Como é difícil detectar e quantificar os microrganismos patogênicos causadores dessas enfermidades, os engenheiros sanitaristas e as autoridades de saúde pública utilizam, como indicadores da contaminação, os 'CF' (Coliformes Fecais), quantificados através do teste do número mais provável de CF em 100 mL de água – NMP (100 mL)<sup>-1</sup>. A maioria dos efluentes industriais possui demanda bioquímica de oxigênio (DBO) muito alta; todavia, a concentração de CF é menor do que nos efluentes domésticos e esta diferença faz com que os resíduos industriais constituam um impasse ecológico e os esgotos domésticos representem um problema de saúde pública; ambos influenciam na deterioração geral da água (LEÓN SUEMATSU & CAVALLINI, 1999).

A agricultura é a atividade que mais consome água doce, fazendo com que o aproveitamento agrícola de efluentes de esgoto tratado, gerados em lagoas de estabilização, seja prática comum em muitos países. No Brasil, só recentemente o uso de efluente de lagoas de estabilização na agricultura vem sendo considerado (BASTOS, 2003).

A presença de nutrientes em efluentes de esgoto é um aspecto favorável em se tratando da irrigação de culturas agrícolas e florestais, mas indesejável para o lançamento desses resíduos em corpos d'água. Piveli & Doria (2003), em estudo das condições operacionais do sistema de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização em Lins, SP, verificaram baixa remoção de nitrogênio total e de fósforo total por este sistema biológico de tratamento. Os autores sugerem que esforços devem ser envidados no sentido de melhorar as características dos efluentes para o lançamento nos corpos de água naturais (atenção voltada para constituintes químicos e biológicos) ou para a disposição no solo (maior preocupação com constituintes biológicos).

Mediante estudos efetuados em diversos países, foi demonstrado aumento da produtividade agrícola em sistemas de irrigação com esgotos adequadamente administrados (HESPANHOL, 2002), como, por exemplo, alguns resultados experimentais (Tabela 7), obtidos em Nagpur, Índia, em estudo de irrigação das culturas do trigo, feijão, arroz, batata e algodão.

No contexto da irrigação de culturas agrícolas com efluentes de esgoto, é oportuno considerar que essas águas residuárias apresentam mais impurezas que águas de fontes naturais, podendo ser potencialmente prejudiciais, dependendo das características que apresentam e das práticas de manejo adotadas para o seu uso (VAZQUEZ-MONTIEL,

HORAN & MARA, 1996). Podem ocorrer sérios problemas ambientais como a lixiviação de nitrato, aumento de elementos tóxicos em solos e plantas e riscos à saúde humana devido a microrganismos patogênicos (VAZQUEZ-MONTIEL, HORAN & MARA, 1996; HESPANHOL, 2002).

**Tabela 7** - Aumento de produtividade agrícola ( $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ) mediante a irrigação com água de esgotos domésticos

<b>Irrigação efetuada com</b>	<b>Trigo 8 anos<sup>(1)</sup></b>	<b>Feijão 5 anos<sup>(1)</sup></b>	<b>Arroz 7 anos<sup>(1)</sup></b>	<b>Batata 4 anos<sup>(1)</sup></b>	<b>Algodão 3 anos<sup>(1)</sup></b>
Esgoto bruto	3,34	0,90	2,97	23,11	2,56
Efluente primário	3,45	0,87	2,94	20,78	2,30
Efluente de lagoa de estabilização	3,45	0,78	2,98	22,31	2,41
Água+NPK	2,70	0,72	2,03	17,16	1,70

<sup>(1)</sup> Número de anos para cálculo da produtividade média

FORTE: Resultados experimentais obtidos em Nagpur, Índia, pelo Instituto Nacional de Pesquisa de Engenharia Ambiental (NEERI), citados por Hespagnol (2002)

Kouraa et al. (2002) obtiveram resultados positivos com a irrigação de culturas de alface e batata com efluente de esgoto tratado por meio de lagoas de estabilização. O efluente de esgoto supriu quase que totalmente as quantidades de N, P e K requeridas pelas culturas.

Comparado a outros tipos de reúso, o uso agrícola de efluentes apresenta benefícios, como a reciclagem de nutrientes através da irrigação de culturas e o fornecimento de água (VAZQUEZ-MONTIEL, HORAN & MARA, 1996). Johns & McConchie (1994) constataram a eficiência do efluente como fonte de água e de nutrientes no cultivo de bananeiras. Segundo os autores, a adição de 600 mm de efluente tratado pode fornecer 21 % de N, 100 % de P, 21 % de K, 20 % de Ca e 50 % de Mg do total de kg de nutrientes necessários anualmente para a produção de bananas.

O uso de águas residuárias na agricultura pode melhorar a produtividade das culturas reduzindo a necessidade do uso de fertilização mineral; permitindo um suprimento considerável de nitrogênio, tanto na forma orgânica como mineral (MELI et al., 2002). Onde o efluente de esgoto é aplicado em pequenas quantidades, o solo é predominantemente aeróbico e o N do efluente será convertido em  $NO_3^-$  (BOUWER & CHANEY, 1974).

Maiores aumentos das concentrações de  $NO_3^-$ ,  $Ca^{+2}$  e P disponível foram observados por Johns & McConchie (1994) em camadas superficiais de solos irrigados com efluente de esgoto do que em solos irrigados com água doce, porém aumentos da concentração de  $Na^+$  foram observados tanto em camadas superficiais quanto em camadas profundas, em tratamentos de irrigação com efluente de esgoto ou água doce.

Aumentos do pH em solos de campo (quatro anos de irrigação) e de floresta (17 anos de irrigação), irrigados com efluente, foram observado por Smith, Hopmans & Cook (1996), no entanto, Johns & McConchie (1994) constataram, na camada de 0 a 20 cm de um solo irrigado para cultivo de bananeiras, decréscimo de pH de 0,55 unidades nos tratamentos com água e de apenas 0,31 unidades nos tratamentos com efluente.

Johns & McConchie (1994) notaram, ainda, que as plantas de bananeiras irrigadas com efluente contêm teores mais elevados de certos elementos em comparação às plantas irrigadas com água doce: 225 % a mais de sódio, 81 % a mais de boro, 43 % a mais de cobre, 26 % a mais de cloro e cerca de 16 % a mais de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio.

Após 15 anos de irrigação com efluente de esgoto, Meli et al. (2002) constataram, no solo, aumento na quantidade de nutrientes disponíveis e na eficiência metabólica da microflora do solo.

Monte & Souza (1992) avaliaram a aplicação do efluente final de água residuária doméstica tratada em um sistema de lagoa de estabilização do tipo facultativa, comparada com água potável misturada a fertilizante comercial para irrigação das culturas de milho, sorgo e girassol, utilizando a irrigação por gotejamento e sulco e concluíram que houve aumento na produção com o uso de efluente tendo havido economia de cerca de 140 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O com o uso de efluente de esgoto. Quanto aos efeitos de contaminação das culturas, verificaram que não houve presença de coliformes fecais, embora se mostrassem necessárias análises mais detalhadas.

De acordo com pesquisas realizadas no estado do Ceará, por Araújo (2000), o reúso informal de efluentes tratados provenientes de lagoas de estabilização, já faz parte do cenário da agronomia urbana (irrigação e piscicultura), ocorrendo em pelo menos nove sistemas da Região Metropolitana de Fortaleza, englobando a piscicultura da tilápia nilótica e o reúso direto na irrigação de maracujá, coco, forragem e culturas hortícolas.

Na utilização de efluente secundário municipal por Neilsen et al. (1989), na irrigação por gotejamento das culturas do tomate, pimenta, cebola, pepino, feijão e melão, obteve-se uma produção maior ou semelhante à conseguida com água superficial.

### **2.7.1 - Vantagens e Limitações**

Devido à escassez de água na região semi-árida do Nordeste brasileiro, a disposição controlada no solo de água residuária pode caracterizar-se como método apropriado de disposição final, haja vista que aporta uma série de vantagens, tais como: benefício agrícola em casos específicos, baixo investimento, pequeno custo operacional,

disponibilidade permanente de água, aporte de grande quantidade de nutrientes, aumento do rendimento dos cultivos, melhoria da qualidade dos solos (estrutura), ampliação da fronteira agrícola, baixo consumo de energia, e principalmente, o impedimento de descargas de substâncias poluentes nos corpos d'água.

Quanto ao uso das águas residuárias na agricultura, várias são as restrições ou riscos que devem ser considerados, dentre os quais, destacam-se a contaminação microbiológica dos produtos, a bioacumulação de tóxicos, a salinização e impermeabilização do solo e o desequilíbrio de nutrientes no solo (FEIGIN, RAVINA & SHALHEVET, 1991).

Apesar dos benefícios concretos com o aproveitamento de efluente na agricultura, a presença de alguns constituintes, como o sódio e metais pesados, é indesejável. O teor de sódio em solos agrícolas pode aumentar com a adição de efluente, alterando certas características físicas do solo devido à dispersão de argilas e às características químicas, influenciando, direta ou indiretamente, o desenvolvimento das plantas. A dispersão de argilas é uma das causas da redução da porosidade do solo, condutividade hidráulica, taxa de infiltração e da destruição da estrutura do solo (FEIGIN, RAVINA & SHALHEVET, 1991).

Segundo Feigin, Ravina & Shalhevet (1991), a dinâmica do sódio em solos cultivados depende de fatores como:

- (i) concentração de sódio no efluente ou na água utilizados para a irrigação
- (ii) absorção pelas plantas
- (iii) intensidade de lixiviação no perfil do solo
- (iv) permeabilidade do solo e
- (v) dinâmica de outros íons, como cálcio, magnésio, carbonatos e bicarbonatos, na solução e no complexo de troca do solo.

Dessa forma, o estudo desses fatores tem grande importância e deve constituir parte do manejo adotado em sistemas de irrigação com efluentes de esgotos e outras águas residuárias em agrossistemas. No que se refere à nutrição de plantas, o sódio pode ser desejável para certas culturas como, por exemplo, para a beterraba açucareira. Em certas regiões, a aplicação de sódio em adubação de forrageiras tem sido considerada útil para aumentar o teor do elemento e por melhorar a aceitabilidade da forragem pelo animal, resultando em maior consumo (RAIJ, 1991).

Havendo o acúmulo de  $\text{Na}^+$ , efeitos negativos para a estrutura do solo podem ocorrer, caracterizando o processo de sodificação. Devido ao grande impacto nas propriedades

do solo e rendimento das culturas, a determinação dos níveis de  $\text{Na}^+$  na água de irrigação é essencial (FEIGIN, RAVINA & SHALHEVET, 1991). Os cátions  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  são os que predominam na solução e no complexo de troca de cátions do solo. Quando passa a haver um acúmulo de sais solúveis no solo, geralmente é o  $\text{Na}^+$  que predomina na solução e, desta forma, o  $\text{Na}^+$  pode passar a ser o cátion predominante no complexo de troca devido ao deslocamento de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , havendo conseqüentemente, precipitação desses cátions na solução do solo (RICHARDS, 1977).

A grande proporção de  $\text{Na}^+$  nos sítios de troca dos minerais de argila reduz a atração entre as partículas do solo, ocasionando expansão e dispersão. As partículas dispersas se movem pelo solo, ocupando os espaços porosos com conseqüente deterioração da sua estrutura e das propriedades de infiltração de água e aeração, sendo problema sério em solos alcalinos, afetando o crescimento vegetal (RAIJ, 1991; RENGASAMY & OLSSON, 1993); porém há diversas estratégias de manejo agrícola que podem reduzir significativamente esses riscos potenciais.

O solo e as plantas atuam como 'filtro vivo' absorvendo e retendo poluentes e organismos patogênicos presentes em resíduos e águas residuárias. Esta disposição completa a seqüência de tratamentos de águas residuárias para a redução dos níveis de microrganismos e de vários componentes orgânicos e inorgânicos para níveis aceitáveis (FEIGIN, RAVINA & SHALHEVET, 1991).

## **2.8 - Diretrizes para o Uso de Águas Residuárias: Aspectos Sanitários**

### **2.8.1 - Organismos Patogênicos**

A irrigação com esgotos sanitários pode contaminar o ar, o solo, as plantas e as áreas vizinhas aos campos irrigados. A magnitude desta contaminação depende do tratamento das águas, condições climáticas predominantes, cultura irrigada e do próprio sistema de irrigação (NUVOLARI, 2003).

Nas três últimas décadas, a irrigação com esgotos sanitários tornou-se uma prática crescente em todo o mundo, por vezes acompanhada de rígido controle sanitário, outras não, impondo sérios riscos à saúde. Diretrizes podem ser adotadas isoladamente ou de forma combinada no uso de águas residuárias na agricultura: tratamento de água residuária, restrições a determinadas culturas, controle da aplicação da água residuária, controle da exposição humana e promoção da higiene (PESCOD, 1992).

Os esgotos sanitários podem conter os mais variados microrganismos patogênicos, cujas concentrações típicas de alguns deles são apresentadas na Tabela 8.

**Tabela 8** – Densidades usuais de organismos patogênicos de contaminação em esgotos sanitários

<b>Microorganismo</b>	<b>Densidade</b>
<i>Escherichia coli</i>	$10^6 - 10^8/100 \text{ mL}$
<i>Salmonellae spp.</i>	$10^2 - 10^3/100 \text{ mL}$
Cistos de <i>Giardia sp.</i>	$10^2 - 10^4/L$
Cistos de <i>Cryptosporidium spp.</i>	$10^1 - 10^2/L$
Ovos de helmintos	$10^1 - 10^3/L$
Vírus	$10^2 - 10^5/L$

FONTE: Bastos (2003)

Se os vírus são organismos vivos ou não, é uma questão filosófica, para a qual alguns virologistas poderão responder que não. Embora os vírus possuam as principais características de um organismo celular, eles não possuem a maquinaria necessária para executar aspectos básicos do metabolismo, tais como a síntese de proteínas; eles não são capazes de se replicar fora da célula hospedeira. O genoma dos vírus pode ser formado de DNA ou RNA, nunca de ambos (os vírus contêm apenas um tipo de ácido nucléico). Os vírus não possuem atividade metabólica fora da célula hospedeira; eles não possuem atividade ribossomal ou aparato para síntese de proteínas; desta forma, os vírus só são replicados dentro de células vivas. O ácido nucléico viral contém informações necessárias para programar a célula hospedeira infectada, de maneira que esta passa a sintetizar várias macromoléculas vírus-específicas necessárias à produção da progênie viral. Fora da célula susceptível as partículas virais são metabolicamente inertes (SINOGAS, 2007).

O uso irrestrito de águas residuárias na agricultura deve cumprir as exigências de qualidade da água adotadas em cada país; como referência, pode-se utilizar os padrões sanitários da OMS; entretanto, é preciso se tomar algumas medidas adicionais para resguardar os trabalhadores do campo e os outros que manipulam os produtos colhidos. As culturas podem agrupar-se em três categorias, de acordo com o grau de medidas de controle para proteger a saúde (Tabela 9). Os critérios de tratamento para reúso agrícola, portanto, devem ser associados à manutenção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) até um máximo de  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , manutenção de nutrientes e eliminação de organismos patogênicos em níveis estabelecidos pela legislação local, se disponível, ou de acordo com as diretrizes da OMS (Tabela 9) (HESPANHOL, 2003).

**Tabela 9** - Diretrizes recomendadas para a qualidade microbiológica das águas residuárias utilizadas na agricultura

<b>Categoria</b>	<b>Condições de uso</b>	<b>Grupo exposto</b>	<b>Nematóides intestinais (ovos/L)</b>	<b>Coliformes fecais (CF/100 mL)</b>	<b>Tratamento requerido</b>
<b>A</b>	Culturas consumidas cruas, campos esportivos, jardins públicos.	Trabalhadores, consumidores e público em geral.	$\leq 1$	$\leq 1.000$	Série de lagoas de estabilização (ou tratamento equivalente)
<b>B</b>	Culturas de cereais, industriais e forrageiras, prados e árvores.	Trabalhadores	$\leq 1$	Não se recomenda nenhuma norma	Lagoas de estabilização por oito a dez dias (ou tratamento equivalente)
<b>C</b>	Irrigação localizada na Categoria B, sem os trabalhadores e o público estarem expostos.	Nenhum	Não se aplica	Não se aplica	Sedimentação primária

FONTE: Adaptado de WHO (1989)

No Brasil, o aspecto sanitário da água de irrigação está diretamente ligado à duas doenças principais: esquistossomose e verminose. A contaminação por esquistossomose ocorre principalmente com o agricultor irrigante, que mantém contato com a água, enquanto que a verminose é contraída através do consumo de produtos irrigados em que a água entra em contato direto com o produto consumido *in natura* (verduras) (NUVOLARI, 2003).

Nos Estados Unidos, alguns critérios também foram criados para qualidades de água para reúso, elaborados pela USEPA (United States Environmental Protection Agency), razão por que se relaciona o tipo de cultura com a qualidade do efluente. O critério da USEPA exige, para a irrigação irrestrita ou irrigação por aspersão em qualquer situação, padrão microbiológico de qualidade de efluentes semelhante ao padrão de potabilidade da água (ausência de coliformes e organismos patogênicos, turbidez  $\leq 2$  UnT e cloro residual  $\geq 1$  mg L<sup>-1</sup>). Depreende-se que o critério de ausência de coliformes asseguraria a ausência de bactérias patogênicas, enquanto a inclusão da turbidez e do cloro residual se presta ao papel complementar da indicação da remoção de protozoário por filtração e da inativação dos vírus (BASTOS, 2003). Os critérios de qualidade recomendada pela USEPA estão apresentados na Tabela 10. Obviamente, padrões com tais níveis de exigência somente podem ser contemplados por processos rigorosos de tratamento de esgotos, incluindo filtração e desinfecção (BASTOS, 2003).

**Tabela 10** – Critérios de qualidade recomendados pela USEPA para reúso de águas residuárias na agricultura

<b>Tipo de irrigação e cultura</b>	<b>Qualidade do efluente</b>
Culturas alimentícias não processadas comercialmente; Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas.	DBO $\leq 10 \text{ mg L}^{-1}$
Culturas alimentícias processadas comercialmente; Irrigação superficial de pomares e vinhedos.	DBO $\leq 30 \text{ mg L}^{-1}$ SS $\leq 30 \text{ mg L}^{-1}$ CF $\leq 200/100\text{mL}$
Culturas não alimentícias; Pastagens para rebanhos de leite; Forrageiras, cereais, fibras e grãos; Lagos paisagísticos e industriais para resfriamento sem circulação; Reúso para melhoria ambiental.	DBO $\leq 30 \text{ mg L}^{-1}$ SS $\leq 30 \text{ mg L}^{-1}$ CF $\leq 200/100\text{mL}^{-1}$
Irrigação de campos de esporte, parques, jardins e cemitérios; Enchimento de lagos de contato primário.	DBO $\leq 10 \text{ mg L}^{-1}$ CF $\leq 200/100\text{mL}$

DBO – demanda bioquímica de oxigênio; SS – sólidos suspensos; CF – coliformes fecais

FONTE: USEPA (1992)

O período de sobrevivência dos microrganismos patogênicos depende da linhagem e dos fatores climáticos e ambientais; por isso, a literatura cita grandes variações de períodos. A informação disponível indica que quase todos os microrganismos patogênicos sobrevivem no solo e nos tanques de piscicultura em tempo suficiente para representarem um perigo aos agricultores e piscicultores. Na Tabela 11 se tem o tempo de sobrevivência desses agentes em clima quente (20 a 30 °C) quando presentes no solo e nas culturas, ficando evidente, também, que os organismos patogênicos sobrevivem por períodos mais curtos nas superfícies das culturas.

**Tabela 11** - Períodos de sobrevivência de alguns agentes patogênicos a 20 – 30 °C

<b>Agente patogênico</b>	<b>Período de sobrevivência</b>	
	<b>No Solo</b>	<b>Nas Culturas</b>
<b>VÍRUS</b>		
Enterovirus*	<100, comumente < 20 dias	<60, comumente < 15 dias
<b>BACTÉRIAS</b>		
Coliformes fecais	<70, comumente < 20 dias	<30, comumente < 15 dias
<i>Salmonella spp</i>	<70, comumente < 20 dias	<30, comumente < 15 dias
<i>Vibrio cholerae</i>	<20, comumente < 10 dias	<05, comumente < 02 dias
<b>PROTOZOÁRIOS</b>		
Cistos de <i>Entamoeba histolitica</i>	<20, comumente < 10 dias	<10, comumente < 02 dias
<b>HELMINTOS</b>		
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Muitos meses	<60, comumente < 30 dias
Larvas de <i>Ancilostoma</i>	<90, comumente < 20 dias	<30, comumente < 10 dias
Ovos de <i>Taenia saginata</i>	Muitos meses	<60, comumente < 30 dias
Ovos de <i>Trichuris trichiura</i>	Muitos meses	<60, comumente < 30 dias

(\*) Inclui polivírus, echovírus e coxsackievírus

FONTE: OMS (1989)

A menor sobrevivência nas culturas se relaciona com a maior exposição aos raios solares e, em conseqüência, a uma dessecação maior. Aqueles patógenos cujo período de sobrevivência excede os ciclos de crescimento das culturas, como se verifica em algumas verduras, podem por em perigo a saúde das pessoas que manipulam e consomem esses produtos.

Shuval et al. (1985) analisaram estudos epidemiológicos disponíveis sobre o uso de águas residuárias na agricultura e checaram às seguintes conclusões: a) a irrigação de cultivos com águas residuárias sem tratamento provoca, nos consumidores e agricultores, um número elevado de infecções endêmicas por nematóides intestinais; b) a irrigação de cultivos com águas residuárias tratadas causa poucas infecções intestinais por nematóides nos agricultores e consumidores dos produtos; c) a cólera e a febre tifóide podem ser transmitidas com a irrigação de verduras com águas residuárias sem prévio tratamento; d) a irrigação de forrageiras com águas residuárias sem tratamento pode infectar o gado, com *Cysticercus bovinus* (o estado larval da *Taenia saginata* do gado bovino) embora existam provas de um risco real apenas para a infecção humana; e e) existem provas limitadas de que nas comunidades com bons hábitos higiênicos, a saúde dos habitantes próximos às áreas irrigadas com águas residuárias sem tratamento, pode ser afetada pelo contato direto com o solo ou pelo contato com os agricultores.

### 2.8.2 - Metais Pesados

Os metais pesados são motivo de preocupação, principalmente quando da utilização de efluentes industriais. Os metais pesados são elementos químicos que possuem peso específico maior que  $5,0 \text{ g cm}^{-3}$  ou número atômico maior que 20. Nos solos, os metais são originados da rocha de origem e de outras fontes adicionadas ao solo, como precipitação atmosférica, cinza, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (TSUTIYA, 2001).

Do ponto de vista ambiental, o termo metal pesado pode ser entendido como aquele elemento que, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferece risco à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos, sendo os principais: alumínio (Al), antimônio (Sb), arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cobalto (Co), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn) (TSUTIYA, 2001).

Para Paganini (1997), a importância da presença de metais pesados nos esgotos se deve à potencialidade de sua acumulação no perfil do solo, à possibilidade de ocorrer a fitotoxicidade e ao risco de que os elementos venham a ser introduzidos na cadeia alimentar

humana, seja através do consumo de culturas ou animais com níveis de metais pesados, seja pelo uso de aquíferos contaminados. Comumente os metais pesados não aparecem em águas residuárias, a menos que estas tenham a contribuição de resíduos industriais.

De forma geral, os metais pesados podem ser tóxicos às plantas e aos animais, no entanto, a literatura especializada não relata casos de toxicidade crônica a esses organismos em decorrência de disposição de esgotos no solo, em razão das baixas concentrações desses elementos na água residuária (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Em 1993, a OMS elaborou um documento preliminar como guia para o estabelecimento dos limites máximos de substâncias químicas presentes nas águas residuárias a serem utilizadas na irrigação. Os metais pesados podem bioacumular-se na cadeia alimentar e, além de novos produtos gerados com o uso de águas residuárias, podendo constituir risco para a saúde dos consumidores se nos efluentes existe uma concentração elevada dos compostos de metais pesados (LEÓN SUEMATSU & CAVALLINI, 1999).

As concentrações máximas recomendadas dos principais elementos químicos nas águas utilizadas irrigação são mostradas na Tabela 12.

**Tabela 12** - Concentrações máximas de elementos químicos nas águas a serem utilizadas para irrigação

Elemento	Concentração máxima recomendada* (mg L <sup>-1</sup> )	Observação
Al (alumínio)	5,00	Pode anular a produtividade em solos ácidos (pH<5,5), porém os solos mais neutros precipitam o íon e eliminam a toxicidade.
As (arsênio)	0,10	A toxicidade às plantas pode variar consideravelmente, desde 12 mg L <sup>-1</sup> para pastagem até 0,05 mg L <sup>-1</sup> .
Be (berílio)	0,10	A toxicidade às plantas pode variar consideravelmente, desde 5 mg L <sup>-1</sup> para couve até 0,5 mg L <sup>-1</sup> para o feijão.
Cd (cádmio)	0,01	É tóxico para feijão, beterraba e nabo em concentrações tão baixas como 0,1 mg L <sup>-1</sup> de solução de nutrientes. Recomendam-se limites conservadores por sua acumulação na planta e nos solos em concentração prejudicial ao ser humano.
Co (cobalto)	0,05	Tóxico para o cultivo do tomateiro em solução de nutrientes a 0,1 mg L <sup>-1</sup> . Tende a inativar em solos alcalinos ou neutros.
Cr (cromo)	0,10	Recomendam-se limites conservadores devido à falta de conhecimento sobre sua toxicidade às plantas.
Cu (cobre)	0,20	Tóxico para diversas plantas de 0,1 a 1,0 mg L <sup>-1</sup> .
F (flúor)	1,00	Torna-se ativo em solos neutros ou alcalinos.
Fe (ferro)	5,00	Não é tóxico às plantas em solos arejados, porém pode contribuir com a acidificação e perda de disponibilidade de P e Mb. A irrigação por aspersão pode formar depósitos despercebidos nas plantas, nos equipamentos e nas edificações próximas.
Li (lítio)	2,50	É tolerado pela maioria das culturas até 5 mg L <sup>-1</sup> . É móvel no solo e tóxico para os citros em concentrações baixas (< 0,075 mg L <sup>-1</sup> ). Atua de maneira similar ao B.
Mn (manganês)	0,20	É tóxico para diversas culturas em poucos décimos ou em poucos mg L <sup>-1</sup> , porém geralmente apenas em solos ácidos.
Mo (molibdênio)	0,01	Pode ser tóxico para o gado se a forragem cresce em solos com altas concentrações de Mo disponível.
Ni (níquel)	0,20	Tóxico às diversas plantas, desde 0,5 a 1,0 mg L <sup>-1</sup> . A toxicidade se reduz em solos neutros ou alcalinos.
Pb (chumbo)	5,00	Em altas concentrações, pode inibir o crescimento de células vegetais.
Se (selênio)	0,02	É tóxico a plantas em concentrações tão baixas como 0,025 mg L <sup>-1</sup> e tóxico ao gado se a forragem crescer em solos com níveis relativamente altos de Selênio. É um elemento essencial aos animais, porém em concentração muito baixa.
Sn (estânio); Ti (titânio); W (tungstênio)	---	As plantas excluem efetivamente, porém a tolerância específica é desconhecida.
V (vanádio)	0,10	Tóxico a diversas plantas em concentrações relativamente baixas.
Zn (zinco)	2,00	Tóxico a muitas plantas em variadas concentrações; a toxicidade é reduzida com pH > 6,0 e em solos orgânicos de textura fina.

(\* ) A concentração máxima é baseada em uma taxa de aplicação de 10.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (=1.000 mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) de água de irrigação, adotando-se práticas de manejo adequado. Se a taxa de aplicação excede consideravelmente esta quantidade, as concentrações máximas devem ser ajustadas em forma decrescente. Não se requer nenhum ajuste se a quantidade for menor que 10.000 m<sup>3</sup>. Os valores consideram o uso contínuo da água sobre o solo.

FONTE: adaptado de Metcalf & Eddy (1991)

### 2.8.3 - Métodos de Irrigação

A água de irrigação pode ser aplicada no terreno por inundação, mediante sulcos, por aspersão, por irrigação subterrânea e por gotejamento. Se a prática da irrigação com efluente não for cuidadosamente manejada, esta poderá resultar na recarga de águas subsuperficiais acompanhada de sais e nitratos, acumulação de outros elementos químicos (como sódio e fósforo) no solo e associado aumento do risco de escoamento superficial desses elementos para os cursos de água. Se a água residuária tratada se ajusta à qualidade recomendada pelos padrões da OMS, pode-se usar qualquer um dos métodos, de modo que a seleção de um ou de outro dependerá da análise técnico-financeira. Por outro lado, se a água não está dentro dos padrões de qualidade e se deseja irrigar cultivos de categoria 'B' (culturas de cereais e as árvores frutíferas), não se deve utilizar irrigação por aspersão (exceto para cultivos de pastagens e forrageiras) nem tampouco, irrigação por inundação. A irrigação subterrânea e a localizada oferecem o grau máximo de proteção para a saúde e aumentam a produtividade das culturas mas esses sistemas têm o inconveniente de serem onerosos e não utilizados em grande escala com águas residuárias (MARA & CAIRNCROSS, 1990). As vantagens e desvantagens de cada método de aplicação de águas residuárias estão mostradas na Tabela 13.

**Tabela 13** - Fatores que afetam a seleção do método de irrigação e medidas necessárias quando se utilizam águas residuárias

<b>Métodos de irrigação</b>	<b>Fatores que afetam a seleção</b>	<b>Medidas especiais para águas residuárias</b>
Inundação	Custo mínimo, às vezes requer a sistematização do terreno.	Proteção completa para os trabalhadores do campo, para os que manipulam as colheitas e os consumidores.
Sulcos	Custo reduzido, às vezes precisa do nivelamento do terreno.	Proteção para os trabalhadores de campo e, às vezes, também para os que manipulam as colheitas e para os consumidores.
Aspersão	Aproveitamento médio da água, não requerendo sistematização do terreno	Não devem ser cultivados alguns produtos da categoria B, sobretudo fruteiras. A distância mínima é de 50 a 100 m para vias e estradas públicas. Não devem ser utilizados resíduos anaeróbios, devido ao mau odor.
Subterrânea e localizada	Custo elevado, maior aproveitamento de água e colheitas com maiores produtividades.	Deve-se filtrar a água para evitar obstrução nos emissores.

FONTE: Mara & Cairncross (1990)

## 2.9 – Crescimento e Desenvolvimento da Mamoneira Irrigada com Água Residuária

Nascimento (2003) concluiu em pesquisa conduzida sob ambiente protegido, que a irrigação com água residuária aumentou significativamente a capacidade de retenção de água do solo, provavelmente devido à matéria orgânica presente na água.

Souza (2006) concluiu que a irrigação com esgoto doméstico tratado contribuiu significativamente no desenvolvimento e no aumento da produção da mamona; entretanto, os nutrientes contidos no esgoto não foram suficientes para aumentar a produção em níveis de adubação. Em pesquisa com água residuária, Nascimento (2003) também concluiu que o aporte de nutrientes da água residuária se encontrava inferior ao nível recomendado para a mamoneira; contudo, os nutrientes presentes promoveram maior crescimento das plantas e influenciaram significativamente todos os componentes de produção, contribuindo para o aumento de produtividade. O autor observou, também, um incremento na saturação do sódio (PST) no solo na ordem de 50 % com a utilização de água residuária, comparada com a água de abastecimento. A salinidade final do solo (CEes de  $6,50 \text{ dS m}^{-1}$ ) irrigado com água residuária evoluiu na ordem de oito vezes em relação à salinidade inicial (CEes de  $0,82 \text{ dS m}^{-1}$ ).

## 2.10 - Estresse Hídrico em Plantas

A frequência 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). Segundo Hsiao (1973) citado por Taiz & 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. De acordo com Taiz & Zeiger (2004), 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; portanto, o fechamento estomático pode ser considerado uma segunda linha de defesa contra a seca (TAIZ & ZEIGER, 2004).

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 & 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 & ZEIGER, 2004).

## 2.11 – O Biodiesel

A crescente preocupação em relação ao meio ambiente e a rápida diminuição das reservas de combustíveis fósseis no mundo, além do aumento no preço do petróleo, levaram à exploração de óleos vegetais e gorduras animais na produção de combustíveis alternativos. Algumas dificuldades surgiram devido à viscosidade natural desses óleos utilizados diretamente nos motores, causando baixo poder de ignição desse material, entretanto, têm sido bastante aceitos e utilizados na produção do biodiesel. Nos dias atuais, a procura por combustíveis renováveis tem aumentado muito; assim, o biodiesel surge como alternativa em relação ao petróleo e seus derivados já que sua produção é mais barata e a emissão de poluentes é consideravelmente inferior à poluição de combustíveis fósseis (SOUZA et al., 2007).

O biodiesel é compatível com o diesel do petróleo em condensação e ignição do motor. Em anos recentes, misturas de ambos têm sido usadas sem nenhuma necessidade de modificação do motor. Do ponto de vista ambiental, o biodiesel é fundamental para redução das emissões de poluentes, contribuindo para diminuir principalmente a incidência de doenças respiratórias. Além de alto poder calorífico, os óleos vegetais têm como principais vantagens a falta de enxofre na composição química, o fato de que a produção industrial não gera substâncias prejudiciais para o ambiente e, também, o fato de que eles são produzidos de culturas vegetais que consomem dióxido de carbono durante a fotossíntese (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Segundo Alves (2004), a substituição de diesel por biodiesel proporcionaria uma redução de custos com poluição, no montante de R\$ 5,9 milhões a R\$ 191,9 milhões/ano, considerando-se seu uso somente nas dez principais cidades brasileiras. Este valor poderia aumentar para até R\$ 872,8 milhões se utilizado em todo o território nacional. Na Tabela 14, se apresentam os custos de poluição evitados de acordo com as diversas percentagens de biodiesel adicionadas na mistura com óleo diesel.

**Tabela 14** – Custos de poluição (R\$ milhões) evitados com adição de diversas quantidades de biodiesel

<b>% de uso do biodiesel</b>	<b>Dez principais cidades brasileiras</b>	<b>Brasil</b>
2	5,9	27,3
5	16,4	75,6
20	65,5	302,3
100	191,9	872,8

FONTE: Casa Civil (2003) citado por Alves (2004)

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 - Localização do Experimento**

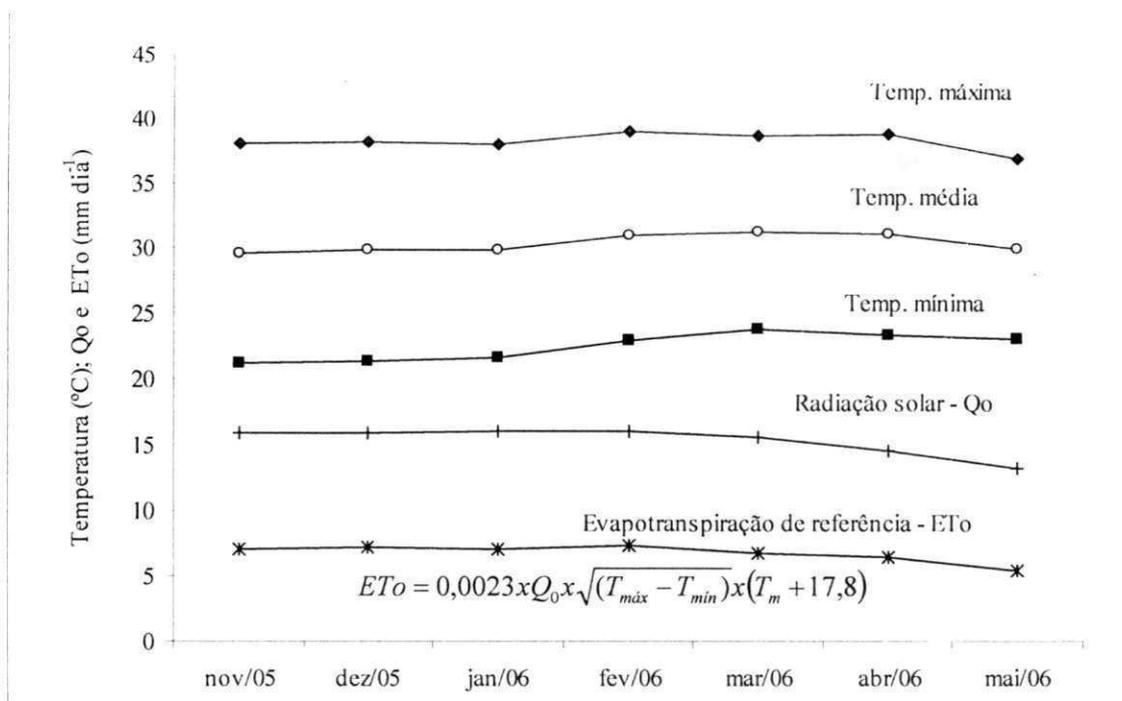
O experimento foi conduzido sob condições de ambiente protegido, durante o período de novembro de 2005 e junho de 2006, em instalações pertencentes ao Departamento de Engenharia Agrícola, vinculado ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTR/N) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG-PB), Campina Grande, PB, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 07° 13' S, longitude 35° 53' W e altitude média 550 m.

#### **3.2 - Clima**

O clima da região é classificado como do subtipo As' (Sistema de Köppen), quente e úmido, com chuvas de outono-inverno e um período de estiagem que varia de cinco a seis meses; seu regime pluviométrico é dependente da Massa Equatorial Atlântica, que inicia sua atuação no outono. A maior umidade procede da corrente inferior dos alísios, porém, no inverno ocorre a invasão das massas polares sul, culminando em chuvas abundantes. A estação chuvosa da região se inicia no mês de fevereiro ou março, prolongando-se até julho ou agosto, em que os meses de junho e julho são os mais chuvosos, com precipitação média anual em torno de 700 mm; com estação seca iniciada em setembro e se estendendo até fevereiro (BRASIL, 1972).

Possui amplitude térmica anual muito pequena em função da baixa latitude. As temperaturas oscilam pouco durante o ano e os valores mínimos e máximos se situam entre 19,5 e 26,0 °C, respectivamente, com meses mais quentes entre janeiro e fevereiro e os mais frios entre julho e agosto (BRASIL, 1972).

Registraram-se, durante o período experimental, dados climáticos (temperatura e evapotranspiração de referência do interior da casa de vegetação), além da radiação solar de Campina Grande (ambiente externo), os quais estão apresentados na Figura 1.



**Figura 1** – Médias mensais de temperatura, radiação solar (Qo) e evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelo método de Samani-Hargreaves. Campina Grande – PB, 2006

### 3.3 – Genótipos de Mamoneira

Foram utilizadas duas cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.), BRS Nordestina e BRS Paraguaçu, cujas principais características estão apresentadas na Tabela 15.

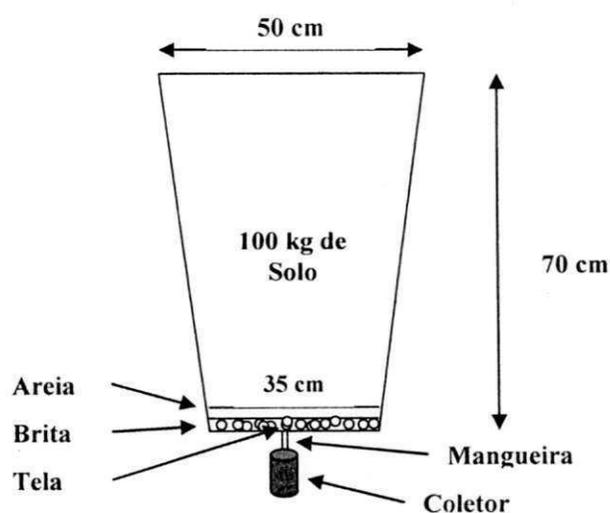
**Tabela 15** – Principais características das cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu

Característica	BRS Nordestina	BRS Paraguaçu
Altura média em regime de sequeiro (m)	1,90	1,60
Coloração do caule	Verde	Roxa
Formato do racemo (cacho)	Cônico	Oval e/ou amorfo
Peso médio de 100 sementes (g)	68,00	71,00
Coloração das sementes	Preta	Preta com algumas manchas vermelhas
Floração média do primeiro racemo (dias após a emergência)	50	54
Ciclo médio (dias)	250	250
Teor de óleo das sementes (%)	49,00	48,00
Produtividade média (kg ha <sup>-1</sup> )		
- Sequeiro	1.500	1.500
- Irrigado	5.000	5.000
Número de racemos por planta	5 a 7	7 a 9
Tamanho médio do racemo (cm)	33	25
Número médio de frutos por racemo	37	30
Número médio de bagas (sementes) por racemo	111	90

FONTE: Adaptado de CARVALHO (2005)

### 3.4 - Procedimento de Instalação do Experimento

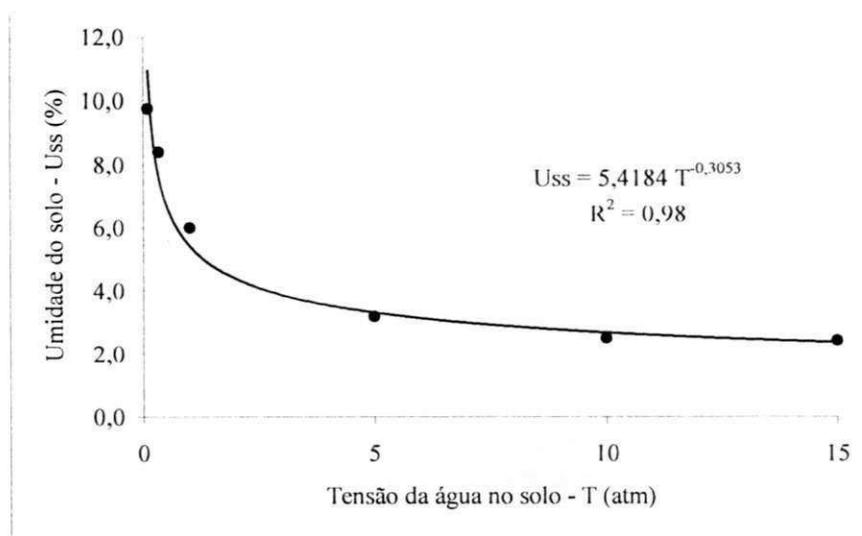
Utilizaram-se lisímetros de drenagem com capacidade de 100 L. Cada lisímetro (recipiente de formato cônico com diâmetro superior e inferior de 50 e 35 cm, respectivamente, e altura de 70 cm) tinha, no fundo, um sistema de drenagem composto de tela, camada de brita de 2 cm, camada de areia de 2 cm, mangueira e um recipiente coletor de 2 L (Figura 2).



**Figura 2** – Lisímetro de drenagem com capacidade de 100 L. Campina Grande – PB, 2006

### 3.4.1 - Solo

Em cada lisímetro foram colocados cerca de 100 kg de material de solo procedente de área circunvizinha ao *campus* da UFCG, em Campina Grande, o qual foi devidamente destorroado, adubado e corrigido, conforme resultados da análise química. O material de solo foi coletado na profundidade de 0-30 cm (horizonte A) de um Argissolo Eutrófico; análises físico-hídricas e químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade-LIS da UFCG, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997a). A curva característica de retenção de água do solo, determinada no LIS, está apresentada na Figura 3 e os demais resultados das análises, na Tabela 16.



**Figura 3** – Curva característica de retenção de água do solo. Campina Grande – PB, 2006

Tabela 16 - Características físico-hídricas e químicas do solo, Campina Grande – PB, 2006

Atributo	Unidade	Valor
<b>A - Características físico-hídricas</b>		
Areia	g kg <sup>-1</sup>	685
Silte	g kg <sup>-1</sup>	144
Argila	g kg <sup>-1</sup>	171
Classificação Textural	-	Franco-arenoso
Densidade do Solo (ds)	g cm <sup>-3</sup>	1,52
Densidade das Partículas (dp)	g cm <sup>-3</sup>	2,84
Porosidade (ε)	%	46,48
Capacidade de Campo (10,13 kPa) (CC)	g kg <sup>-1</sup>	97,3
Ponto de Murchamento (1519,87 kPa) (PM)	g kg <sup>-1</sup>	24,2
Água Disponível (AD)	g kg <sup>-1</sup>	73,1
<b>B - Complexo sortivo</b>		
Cálcio extraível (Ca <sup>+2</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	2,44
Magnésio extraível (Mg <sup>+2</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	3,54
Sódio extraível (Na <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,10
Potássio extraível (K <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,13
Hidrogênio (H <sup>+</sup> ) + Alumínio (Al <sup>+3</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	3,28
Alumínio (Al <sup>+3</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,67
Carbono Orgânico (C-Org.)	g kg <sup>-1</sup>	3,00
Matéria Orgânica (M.Org.)	g kg <sup>-1</sup>	5,18
Nitrogênio (5 % M.Org.) (N-Org.)	g kg <sup>-1</sup>	0,26
Fósforo Assimilável (P)	mg kg <sup>-1</sup>	3,10
pH em Água (1:2,5) (pH)	-	5,56
CE da Suspensão Solo-Água (1:2,5) (CEsa)	dS m <sup>-1</sup>	0,26
<b>C - Extrato de saturação</b>		
Cálcio (Ca <sup>+2</sup> )	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	2,50
Magnésio (Mg <sup>+2</sup> )	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	6,25
Sódio (Na <sup>+</sup> )	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	3,05
Potássio (K <sup>+</sup> )	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,48
Cloretos (Cl <sup>-</sup> )	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	7,50
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,00
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	2,90
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	Ausente
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	(mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	1,46
CE do Extrato de Saturação (CEes)	dS m <sup>-1</sup>	1,22
Umidade de Saturação da Pasta (Usat)	%	20,33
Acidez (pH) do Extrato de Saturação (pHes)	--	5,21
Classe de solo	--	Muito ácido

Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN/UFCG)

### 3.4.2 - Calagem e Adubação

Por ocasião do enchimento dos lisímetros (agosto de 2005), foram realizadas as práticas de calagem e a adubação mineral de plantio. A necessidade de calcário (NC) foi calculada considerando-se os resultados da análise química do solo (Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup>) > 2,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e saturação de bases (V) maior que 50,0 % (Tabela 16), empregando-se o método da neutralização do Al<sup>3+</sup> (MELLO, BELTRÃO & SILVA, 2003):

$$NC = 2,0 \times Al \times F \quad (\text{Eq. 1})$$

$$NC = 2,0 \times 0,67 \times 1,5 = 2,01 \text{ t ha}^{-1}$$

Em que:

NC = necessidade de calcário ( $\text{t ha}^{-1}$ )

Al = concentração de alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )

F = fator que representa a qualidade do calcário (para um PRNT de 67 %,  $F=1,5$ )

Para cada 100 kg de material de solo (conteúdo de um lisímetro) se aplicaram 66,12 g de calcário dolomítico e se realizou a adubação de plantio (fundação) considerando-se a metodologia descrita para experimentos conduzidos em ambiente protegido: 100, 300 e 150  $\text{mg kg}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente (NOVAIS, NEVES & BARROS, 1991). Para atender essa recomendação, por ocasião do enchimento dos lisímetros, em cada 100 kg de solo se aplicaram 25 % N (5,56 g uréia [45 % N]), todo o  $\text{P}_2\text{O}_5$  (75,00 g superfosfato triplo [40 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ]) e todo o  $\text{K}_2\text{O}$  (25,87 g KCl [58 %  $\text{K}_2\text{O}$ ]).

O solo contido em cada lisímetro foi mantido em capacidade de campo e coberto com tampa própria por cerca de três meses, agosto a novembro de 2005, época da semeadura, quando o solo se apresentava com as características apresentadas na Tabela 17. Não foram feitas adubações de cobertura com o intuito de se verificar o potencial da água de esgoto como fertilizante.

**Tabela 17** - Características químicas do solo antes e após a calagem e a adubação. Campina Grande – PB, 2006

Atributo	Unidade	Valor <sup>1</sup>
		Antes → Após
Cálcio extraível ( $\text{Ca}^{+2}$ )	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	2,44 → 14,84
Magnésio extraível ( $\text{Mg}^{+2}$ )	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	3,54 → 7,63
Sódio extraível ( $\text{Na}^+$ )	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	0,10 → 1,47
Potássio extraível ( $\text{K}^+$ )	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	0,13 → 0,20
Hidrogênio ( $\text{H}^+$ )	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	2,61 → 2,03
Alumínio ( $\text{Al}^{+3}$ )	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	0,67 → 0,00
Carbono orgânico (C-Org.)	$\text{g kg}^{-1}$	3,00 → 3,01
Matéria orgânica (M.Org.)	$\text{g kg}^{-1}$	5,18 → 5,20
Nitrogênio (5 % M.Org.) (N-Org.)	$\text{g kg}^{-1}$	0,26 → 0,26
Fósforo assimilável (P)	$\text{mg kg}^{-1}$	3,10 → 122,60
pH em água (1:2,5) (pH)	--	5,56 → 6,33
CE da suspensão solo-água (1:2,5) (CEsa)	$\text{dS m}^{-1}$	0,26 → 3,67

Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN/UFPCC)

<sup>1</sup> 1ª análise: agosto/2005 (antes da calagem); 2ª análise: novembro/2005 (três meses após a calagem)

### 3.4.3 - Água de Irrigação

As irrigações foram realizadas com água residuária de esgoto bruto proveniente do Riacho Bodocongó, que circula ao longo da área experimental com deságüe no Açude de Bodocongó. O sistema de captação da água de irrigação se compunha de 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 (Figura 4A), tubulação de recalque com 50 m de mangueira de polietileno  $\frac{3}{4}$  e reservatório com capacidade de 1000 L (Figura 4B).



A



B

**Figura 4** - Poço para recalque da água de esgoto e bomba submersa (A) e reservatório de armazenamento (B). Campina Grande – PB, 2006

Foram feitas análises físico-química e microbiológica da água de esgoto durante o período experimental. As referidas análises foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG e no Laboratório do Programa de Saneamento Básico – PROSAB, seguindo as metodologias contidas em Richards (1977) e APHA (1995), cujos atributos com os respectivos resultados constam nas Tabelas 18 e 19. Cada amostra foi coletada por volta das 8:00h da manhã, as amostras foram coletadas e acondicionadas em garrafas plásticas de dois litros. Para análises microbiológicas, as coletas foram feitas em frasco de vidro âmbar esterilizados, em seguida acondicionados em caixas de isopor e transportados até o PROSAB.

**Tabela 18** - Características físico-químicas do efluente de esgoto bruto utilizado no experimento. Campina Grande – PB, 2006

Atributo	Dez/05	Jan/06	Fev/06	Mar/06	Abr/06	Mai/06	Média
pH	7,80	8,67	8,03	7,67	7,68	7,55	7,79 <sup>(1)</sup>
CE (dS m <sup>-1</sup> )	1,40	1,31	1,40	1,51	1,47	1,28	1,40
Classe de água	C <sub>3</sub>						
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> )	53,40	55,00	54,00	66,00	56,00	52,20	56,10
Magnésio (mg L <sup>-1</sup> )	38,88	55,48	34,68	33,60	38,50	33,12	39,04
Sódio (mg L <sup>-1</sup> )	135,93	147,20	140,76	156,40	137,31	133,17	141,80
RAS (mmol L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	3,44	3,33	3,66	3,89	3,44	3,53	3,55
N-total (mg L <sup>-1</sup> )	33,00	39,07	32,54	30,05	25,68	28,66	31,50
Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )	4,42	4,75	5,40	5,25	3,90	3,88	4,60
Potássio (mg L <sup>-1</sup> )	22,48	29,25	26,91	27,30	29,25	25,74	26,82
Cloretos (mg L <sup>-1</sup> )	179,73	168,39	186,11	228,65	219,79	201,0	197,28
Sulfato (mg L <sup>-1</sup> )	12,96	49,48	3,36	56,64	42,24	45,12	34,97
Bicarbonatos (mg L <sup>-1</sup> )	541,07	389,79	318,42	536,19	589,87	497,15	478,75
Carbonatos (mg L <sup>-1</sup> )	10,80	96,00	103,80	34,20	0,00	0,00	40,80
Ferro (mg L <sup>-1</sup> )	1,10	11,0	0,47	1,34	0,63	0,15	2,45
Zinco (mg L <sup>-1</sup> )	0,010	0,014	0,011	0,013	0,015	0,015	0,013
Cobre (mg L <sup>-1</sup> )	0,005	0,004	0,005	0,004	0,007	0,005	0,005
Manganês (mg L <sup>-1</sup> )	0,13	0,08	0,13	0,07	0,08	0,11	0,10
Dureza Total – CaCO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	295,62	326,87	279,37	305,00	300,62	268,75	296,04
TDS (mg L <sup>-1</sup> )	896,00	839,00	896,00	966,00	941,00	819,00	892,83

<sup>(1)</sup> pH médio = - log ([H<sup>+</sup> média] em que: [H<sup>+</sup>] = 10<sup>-pH</sup>)

Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola (CTRN/UFPG).

**Tabela 19** - Características físico-químicas e microbiológicas do efluente de esgoto bruto. Campina Grande – PB, 2006.

Atributo	Jan/2006	Fev/2006	Mar/2006	Abr/2006	Mai/2006	Média
NTK (mg L <sup>-1</sup> )	31,40	40,90	34,09	29,12	21,80	31,46
P Total (mg L <sup>-1</sup> )	4,87	5,60	5,33	5,03	3,70	4,91
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	122,00	92,00	150,00	86	84,00	106,80
Helminhos (ovos L <sup>-1</sup> )	153	216	198	63	136	153
Colif. fecais (CF 100mL <sup>-1</sup> )	2,00E+05	2,50E+05	2,30E+05	2,50E+04	1,68E+04	1,44E+05
<b>Sólidos totais (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>952</b>	<b>1256</b>	<b>1140</b>	<b>1333</b>	<b>899</b>	<b>1116</b>
Sólidos voláteis (mg L <sup>-1</sup> )	205	180	184	212	167	190
Sólidos fixos (mg L <sup>-1</sup> )	747	1076	956	1121	732	926

Análises realizadas no Laboratório do PROSAB, Campina Grande – PB

### 3.5 - Semeadura

As sementes das cultivares estudadas (BRS Nordestina e BRS Paraguaçu), cedidas pela Embrapa Algodão, passaram por criteriosa seleção, eliminando-se as defeituosas e aquelas com indício de fungos, ataque de insetos e danos mecânicos. Para assegurar plantas vigorosas, em cada unidade experimental foram semeadas seis bagas na profundidade de 2 cm, com o solo em capacidade de campo, a fim de possibilitar a eliminação das plantas menos vigorosas por ocasião dos desbastes. Os lisímetros ficaram espaçados 1,00m x 0,70m e a semeadura ocorreu no dia 16 de novembro de 2005 (três meses após a calagem).

### 3.6 - Delineamento Experimental e Tratamentos

Utilizou-se o delineamento estatístico em blocos ao acaso, com esquema de análise fatorial 5 x 2, com três repetições, sendo estudados 5 níveis de reposição de água ( $Nr_1 = 0,60$  ;  $Nr_2 = 0,75$ ;  $Nr_3 = 0,90$ ;  $Nr_4 = 1,05$  e  $Nr_5 = 1,20$  da evapotranspiração) e 2 cultivares (BRS Nordestina e BRS Paraguaçu). Até os 90 dias após a semeadura-DAS, quando se realizou uma análise destrutiva, a parcela experimental foi constituída pela média de dois lisímetros, sendo uma planta/lisímetro, perfazendo o total de 60 lisímetros; após os 90 DAS, a parcela ficou representada por um lisímetro. Na Figura A1, em Apêndices, tem-se uma visão geral do experimento. Os níveis de reposição da evapotranspiração foram aplicados a partir dos 21 DAS.

### 3.7 - Tratos Culturais

#### Desbastes

Foram feitos três desbastes deixando-se cinco, duas e uma planta por lisímetro, aos 17, 19 e 21 DAS, respectivamente.

#### Tratos Fitossanitários

Foram feitas pulverizações periodicamente, para o controle de várias pragas, dentre elas, o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*), o ácaro-vermelho (*Tetranychus ludeni*), os pulgões (*Aphis gossypii* e *Aphis fabae*), o minador-das-folhas (*Liriomyza sativae* Blanchard) e, principalmente, para o controle da mosca-branca (*Bemisia spp.*). Foram adotadas todas as medidas culturais indicadas para o controle e a rotação dos agroquímicos (inseticida-acaricidas), objetivando-se evitar o surgimento de resistência (CARVALHO, 2005).

#### Adubações Foliaves – Controle da deficiência de zinco e cobre

Para controlar as deficiências de zinco e cobre, manifestadas nas folhas mais jovens (apicais) após os 40 DAS (encarquilhamento e atrofia das folhas mais jovens) na cultivar BRS Paraguaçu, foram feitas três aplicações via foliar, de uma solução contendo 1,0 a 4,0 mMol de  $CuSO_4.5H_2O + ZnSO_4.7H_2O$  diluída na proporção de 2 mL L<sup>-1</sup>. Embora os sintomas se tenham manifestados apenas na BRS Paraguaçu, as aplicações foram efetuadas nas duas cultivares evitando-se, assim, um tratamento diferenciado ao fator 'cultivar'.

### 3.8 - Evapotranspiração da Cultura (ETc) Medida

As irrigações, com turno de rega de dois dias, foram efetuadas mediante o uso de proveta volumétrica. Todos os eventos de irrigação foram registrados em planilhas eletrônicas contendo o balanço hídrico durante o período experimental.

Os volumes de água aplicados para atender ao fator 'Nr' (nível de reposição da evapotranspiração) foram determinados em função do balanço hídrico em Nr<sub>4</sub> (reposição de 1,05 ETc), de tal forma a proporcionar cerca de 5 % de drenagem neste nível, conforme equações abaixo:

$$VI(Nr_1) = 0,60*(VI_{n-1}-VD_{n-1}) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$VI(Nr_2) = 0,75*(VI_{n-1}-VD_{n-1}) \quad (\text{Eq. 3})$$

$$VI(Nr_3) = 0,90*(VI_{n-1}-VD_{n-1}) \quad (\text{Eq. 4})$$

$$VI(Nr_4) = 1,05*(VI_{n-1}-VD_{n-1}) \quad (\text{Eq. 5})$$

$$VI(Nr_5) = 1,20*(VI_{n-1}-VD_{n-1}) \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

VI(Nr<sub>i</sub>) = volume de água a ser aplicado no nível i (1, 2, 3, 4, 5) de reposição (mL)

VI<sub>n-1</sub> = volume de água aplicado no nível Nr<sub>4</sub> no evento de irrigação anterior (mL)

VD<sub>n-1</sub> = volume de água drenado no nível Nr<sub>4</sub> no evento de irrigação anterior (mL).

Para a primeira irrigação aplicaram-se volumes arbitrados, sendo 2.000, 2.500, 3.000, 3.500 e 4.000 mL de água residuária para os tratamentos 0,60, 0,75, 0,90, 1,05 e 1,20ETc, respectivamente. Nesse evento de irrigação, drenaram 2,29 e 12,25 %, em média, sob Nr<sub>4</sub> e Nr<sub>5</sub>, respectivamente (Tabela A1, em Apêndices).

Obteve-se a evapotranspiração da cultura (ETc) 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, empregando-se a seguinte equação:

$$ETc = \frac{VI - VD}{S} * \frac{1}{TR} \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

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

VI = volume de água aplicado (L)

VD = volume de água drenado (L)

S = área de exposição do lisímetro (0,20 m<sup>2</sup>)

TR = turno de rega (2 dias).

### 3.9 - Evapotranspiração da Cultura (ETc) Estimada

Para a estimativa da 'ETc' ( $ETc = kc \times ET_o$ ) adotaram-se os 'kc' registrados na Tabela 20 e ilustrados na Figura 5 e as estimativas da ET<sub>o</sub>, pelo método de Hargreaves & Samani (1985). A estimativa da ETc era realizada para cada evento de irrigação e comparada

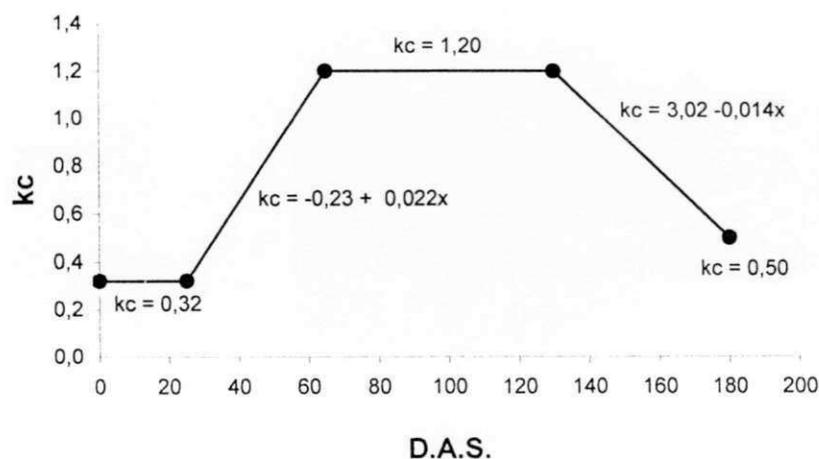
com a  $ET_c$  medida em função do balanço hídrico (subitem anterior) de modo a se verificar a validade do método de Samani-Hargreaves para ambiente protegido.

**Tabela 20** – Coeficientes de cultivo ( $kc$ ) da mamoneira adotados para estimativa da  $ET_c$

Fase	Descrição	Período (dias) <sup>(1)</sup>	$kc$ <sup>(2)</sup>
I	Estabelecimento (germinação, emergência e plântula)	0-25	0,32
I	Período de crescimento vegetativo	25-65	0,32-1,20
II	Período de floração	65-130	1,20
III	Período de formação da colheita (Frutificação)	130-180	1,20-0,50
IV	Período de maturação e colheita	180-...	0,50

<sup>(1)</sup> FONTE: Doorenbos & Pruitt (1997, Estudos FAO, 24), p. 57

<sup>(2)</sup> FONTE: Adaptado de Doorenbos & Pruitt (1997), p.56; Bezerra (2004)



**Figura 5** - Curva do coeficiente de cultivo ( $kc$ ) adotada na estimativa da  $ET_c$  da mamoneira em função dos dias após semeadura-D.A.S. Campina Grande – PB, 2006

A estimativa da ' $ET_o$ ' é de grande utilidade na estimativa do consumo hídrico de uma cultura uma vez que, conhecendo-se o comportamento do coeficiente de cultura ( $kc$ ), torna-se mais prático estimar a ' $ET_c$ ' através do produto de ' $kc$ ' pela ' $ET_o$ ', imprescindível para o manejo sustentado da agricultura irrigada.

Estimativa da ' $ET_o$ ' (HARGREAVES & SAMANI, 1985):

$$ET_o = 0,0023xQ_0x\sqrt{(T_{máx} - T_{mín})}x(T_m + 17,8) \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

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

$Q_0$  = radiação solar ( $Q_0$ ), 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 ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Os valores da radiação solar ( $Q_0$ ) estão apresentados na Tabela 21, na qual também constam os valores interpolados para o município de Campina Grande, utilizados na estimativa da  $ET_0$ . Diariamente se registravam as temperaturas máxima ( $T_{m\acute{a}x}$ ) e mínima ( $T_{m\acute{i}n}$ ) ocorridas no interior da casa de vegetação. A temperatura média ( $T_m$ ) foi obtida a partir da  $T_{m\acute{a}x}$  e  $T_{m\acute{i}n}$ . As médias mensais de temperatura e  $ET_0$  estão apresentadas na Figura 1. Todas as estimativas de  $ET_0$  foram registradas em planilhas eletrônicas (Tabela A1, em Apêndices).

**Tabela 21** - Radiação solar ( $Q_0$ ), em equivalente de evaporação, expressa em mm dia<sup>-1</sup>

Latitude sul	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
00° 00' 00"	15,00	15,50	15,70	15,30	14,40	13,90	14,10	14,80	15,30	15,40	15,10	14,80
02° 00' 00"	15,30	15,70	15,70	15,10	14,10	13,50	13,70	14,50	15,20	15,50	15,30	15,10
04° 00' 00"	15,50	15,80	15,60	14,90	13,80	13,20	13,40	14,30	15,10	15,60	15,50	15,40
06° 00' 00"	15,80	16,00	15,60	14,70	13,40	12,80	13,10	14,00	15,00	15,70	15,80	15,70
<b>07° 13' 00"<sup>(1)</sup></b>	<b>15,98</b>	<b>16,06</b>	<b>15,54</b>	<b>14,52</b>	<b>13,22</b>	<b>12,56</b>	<b>12,86</b>	<b>13,82</b>	<b>14,94</b>	<b>15,76</b>	<b>15,92</b>	<b>15,88</b>
08° 00' 00"	16,10	16,10	15,50	14,40	13,10	12,40	12,70	13,70	14,90	15,80	16,00	16,00
10° 00' 00"	16,40	16,30	15,50	14,20	12,80	12,00	12,40	13,50	14,80	15,90	16,20	16,20

FONTE: Adaptado de Doorenbos & Pruitt (1997, FAO, 24) p.20

<sup>(1)</sup> Latitude de Campina Grande

### 3.10 - Variáveis Não Destrutivas Avaliadas

#### 3.10.1 - Altura de Planta (AP)

A altura da planta (AP) foi medida em centímetro, entre o colo da planta e a extremidade do broto terminal da haste principal. A 'AP' foi avaliada aos 48-90-132-174 DAS.

#### 3.10.2 - Diâmetro Caulinar (DC)

O diâmetro foi medido utilizando-se de paquímetro com as leituras, em mm, realizadas na região do colo da planta. O 'DC' foi avaliado nas mesmas datas usadas para a altura de planta.

#### 3.10.3 - Número de Folhas (NF) e Área Foliar (AF)

Na contagem do 'NF' contidas na planta e na estimativa da 'AF', foram consideradas apenas aquelas que se apresentavam completamente abertas e funcionais, com

pelo menos 3 cm de comprimento; enfim, foram mensurados nas mesmas datas utilizadas para 'AP' e 'DC'.

Estimou-se a 'AF' individual, via medida linear e, se obteve a 'AF' da planta pela soma das 'AFs' individuais utilizando-se da equação de Wendt (1967):

$$\log AF = -0,346 + 2,152 \text{ Log } x_i \Leftrightarrow AF = 10^{(-0,346 + 2,152 \text{ Log } x_i)} \quad (\text{Eq. 9})$$

$$AF / \text{Planta} = \sum_{i=1}^{i=n} 10^{(-0,346 + 2,152 \text{ Log } x_i)}$$

Em que:

$AF$  = área foliar ( $\text{m}^2$ )

$n$  = número de folhas na planta

$x_i$  = comprimento da nervura principal (m).

### 3.10.4 - Taxas de Crescimento Absoluto e Relativo (TCA, TCR)

Computaram-se as taxas de crescimento a partir dos dados de altura de planta (AP) e diâmetro caulinar (DC). Com os dados de 'AP' e 'DC' se obtiveram as taxas de crescimento absoluto e relativo em altura ( $TCA_{AP}$ ,  $TCR_{AP}$ ), e em diâmetro ( $TCA_{DC}$ ,  $TCR_{DC}$ ) conforme equações a seguir (BENINCASA, 2003):

$$TCA_{AP} = \frac{AP_2 - AP_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$TCR_{AP} = \frac{\ln AP_2 - \ln AP_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{Eq. 11})$$

Em que:

$TCA_{AP}$  = taxa de crescimento absoluto em altura ( $\text{cm dia}^{-1}$ )

$TCR_{AP}$  = taxa de crescimento relativo em altura ( $\text{cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )

$AP_1$  = altura da planta no tempo  $t_1$  (cm)

$AP_2$  = altura da planta no tempo  $t_2$  (cm).

$$TCA_{DC} = \frac{DC_2 - DC_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$TCR_{DC} = \frac{\ln DC_2 - \ln DC_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{Eq. 13})$$

Sendo:

$TCA_{DC}$  = taxa de crescimento absoluto caulinar em diâmetro ( $\text{mm dia}^{-1}$ )

$TCR_{DC}$  = taxa de crescimento relativo caulinar em diâmetro ( $\text{mm mm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )

$DC_1$  = diâmetro do caule no tempo  $t_1$  (mm)

$DC_2$  = diâmetro do caule no tempo  $t_2$  (mm).

### 3.10.5 - Fluorescência da Clorofila 'a'

As medições da eficiência quântica do fotossistema II, utilizando-se do Fluorômetro PEA II – Plant Efficiency Analyser (Hansatech Instruments Co., UK), foram realizadas aos 85 DAS, a partir das 9:00 h, na quarta folha mais nova do ramo primário de cada planta, sendo a área foliar da leitura submetida previamente ao escuro, por pelo menos 30 minutos, mediante o uso de ‘clipes’ (DURÃES et al., 2000). Foram feitas avaliações 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 (relação  $F_v/F_m$ ) (SCHOLES & HORTON, 1993).

### 3.10.6 - Condutância Estomática (gs)

Realizou-se a medição da condutância ou resistência estomática (gs), mediante uso de porômetro (Porometer AP4, Delta-T Devices) a partir das 9:00 h, na quarta folha mais nova do ramo principal de cada planta; Foram feitas duas avaliações, aos 95 e 125 DAS, com a condutância estomática expressa em  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; além da leitura da condutância estomática, o porômetro registrava os dados de temperatura ( $^{\circ} \text{C}$ ), insolação ( $\text{kJ m}^{-2}$ ) e umidade relativa (%) do ambiente.

### 3.10.7 – Componentes do Primeiro Racemo

Nem todas as plantas produziram mais de um cacho, razão pela qual se fez um estudo dos componentes do primeiro racemo, assim descritos:

**Emissão da Primeira Inflorescência:** A emissão da primeira inflorescência (abertura do botão floral) foi registrada em dias após a semeadura–DAS.

**Comprimento (CR):** – Obteve-se o comprimento do racemo (distância entre os frutos basais e a sua extremidade superior) por meio de régua milimetrada e registrado em cm. As medidas foram realizadas quando os frutos se encontravam bem definidos.

**Densidade:** A densidade do racemo correspondeu à relação entre número de frutos ‘NF’ e o comprimento do racemo ‘CR’; portanto, os dados foram registrados em frutos/cm.

**Peso de 100 Sementes ( $P_{100}$ ):** Para obtenção de  $P_{100}$ , se separaram aleatoriamente 100 sementes (bagas) de cada parcela para pesagem (precisão 0,01g).

### **3.11 - Variáveis Destrutivas**

Até os 90 dias após a semeadura-DAS, a unidade experimental das variáveis não destrutivas foi constituída pela média de dois lisímetros (média de duas plantas contidas em lisímetros separados); aos 90 DAS, foram coletadas 30 plantas, retirando-se uma planta de cada parcela (Figura A2, Apêndices) para a primeira análise destrutiva. A partir desse período, ficaram 30 plantas cultivadas nos 30 lisímetros restantes até os 174 DAS, quando se fez a coleta final dos dados.

Aos 90 DAS se avaliaram as variáveis fitomassa de raízes (FR), fitomassa da parte aérea (FPA) e a relação raiz parte aérea (R/PA; aos 174 DAS, além dessas variáveis foram avaliados os componentes de produção.

#### **3.11.1 - Fitomassa Total da Parte Aérea (FPA)**

Toda a parte aérea foi acondicionada em sacos de papel devidamente identificados, as amostras foram secadas em estufa com ventilação forçada a temperatura de 60 °C até peso constante para obtenção do peso da matéria seca, em balança digital com precisão de 0,01 g.

#### **3.11.2 - Fitomassa de Raízes (FR)**

As raízes foram separadas do solo por catação e peneiramento sobre peneira de arame e tela de nylon com malhas de 2,0 mm; em seguida, o material foi secado na sombra e levado para estufa a 60 °C ( $\pm 1$  °C) para posterior pesagem.

#### **3.11.3 - Relação Raiz Parte Aérea (R/PA)**

Com os dados de 'FR' e 'FPA' calculou-se a relação R/PA.

#### **3.11.4 - Componentes de Produção**

Avaliou-se a produção da mamona a partir das seguintes variáveis:

- Número de racemos por planta
- Número de frutos (cápsulas) por planta
- Produção de sementes ou bagas
- Teor de óleo.

O teor de óleo nas sementes (expresso em %) foi determinado no Laboratório da EMBRAPA-CNPA em Campina Grande, mediante o uso da técnica Ressonância Magnética

Nuclear (RMN), em espectrofotômetro, marca Oxford 4000. De cada amostra foram feitas três repetições de leituras, em que se tomou a média como o valor da parcela.

### **3.12 - Análise de Fertilidade do Solo ao Final do Experimento**

Com o objetivo de se avaliar o impacto da água de esgoto doméstico sobre a fertilidade final do solo após o cultivo da mamoneira (174 DAS), o complexo sortivo do solo foi analisado na profundidade de 0-20 cm. As amostras de solo (cerca de ½ kg) foram secadas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras de 2 mm e analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade – LIS, para determinação dos seguintes atributos: N-Org, P, K, Ca, Mg, Na, pH e CEsa, segundo metodologia contida em EMBRAPA (1997a). No caso do pH, a análise de variância foi procedida com os valores da concentração de hidrogênio ( $[H^+] = 10^{-pH}$ ) e depois se aplicou a escala de pH nas médias ( $pH = -\log [H^+]$ ) (SANTOS & GHEYI, 2003). A média entre o pH 4 e o pH 6 não pode ser considerada igual a 5, uma vez que um pH de 4 é dez vezes mais ácido que o pH 5 e 100 vezes mais ácido que o pH 6; portanto, a média seria aproximadamente 4,3.

### **3.13 – Estado Nutricional das Plantas (Macronutrientes, Micronutrientes e Sódio)**

Segundo Malavolta (1980), de modo geral a folha recém-madura (aquela cujo crescimento terminou e que ainda não entrou em senescência) reflete bem o estado nutricional da planta inteira. De acordo com Lavres Júnior et al. (2005), o limbo da terceira folha madura da mamoneira é a que melhor reflete o estado nutricional da mamoneira. Para Lange et al. (2005), tanto as folhas superiores como as inferiores da mamoneira refletem o seu estado nutricional em relação a B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn.

As coletas de tecidos, foliar e radicular, foram feitas no final do experimento (174 DAS), obtendo-se, de cada parcela, três folhas completamente maduras, próximas ao ápice da planta. Para análise de tecido radicular, separou-se, de cada planta, uma amostra da extremidade das raízes secundárias, de modo a incluir os pelos absorventes. O material foi identificado, acondicionado em sacos de papel e secado em estufa a 60 °C, durante 72 horas; posteriormente foi pesado, triturado em moinho (peneira com diâmetro de malha de 1 mm) e realizadas as determinações das concentrações químicas nos tecidos, conforme metodologia contida em Malavolta, Vitti & Oliveira (1997). Nas amostras de tecidos das plantas foram avaliados, pelo método de absorção atômica, os macronutrientes (N-P-K-Ca-Mg-S), os micronutrientes (Cl-Fe-Zn-Cu-Mn) e o elemento Na no Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG-PB.

### 3.14 – ETc Medida e ETc Estimada

A ETc calculada ou medida (balanço hídrico) e a ETc estimada ( $kc \cdot ETo$ ) foram avaliadas nos períodos 21-48, 49-90, 91-132 e 133-174 DAS.

### 3.15 – Determinação dos Coeficientes de Cultivo (kc)

Os coeficientes de cultivo da mamoneira (kc) foram calculados nos períodos 21-48, 49-90, 91-132 e 133-174 DAS, a partir da relação  $ETc/ETo$ , onde a ETc é a evapotranspiração calculada ou medida (balanço hídrico) e a ETo é a evapotranspiração de referência, ambas expressas em  $mm \text{ dia}^{-1}$ .

### 3.16 - Volume de Água Consumido e Eficiência de Utilização de Água

A partir do balanço hídrico calculou-se o volume total de água consumido pelas plantas (volume aplicado – volume drenado) durante o período experimental. A eficiência de uso de água (expressa em  $kg \text{ m}^{-3}$ ) foi mensurada e avaliada mediante a relação entre a produção de bagas (kg) e o volume de água consumido pelas plantas ( $m^3$ ), conforme Doorenbos & Kassam (1994).

### 3.17 - Condutividade Elétrica da Água de Drenagem ( $CE_{ad}$ ) e Fração de Lixiviação (FL)

A condutividade elétrica da água de drenagem ( $CE_{ad}$ ) dos níveis de reposição 'Nr<sub>4</sub>' e 'Nr<sub>5</sub>' foi monitorada e medida com auxílio de um condutivímetro portátil, com correção de temperatura para 25° C. A  $CE_{ad}$  foi estudada por meio da média ponderada dos dados obtidos nos períodos: 21-48, 49-90, 91-132 e 133-174 DAS, empregando-se a equação 14:

$$CE_{ad} \text{ média} = \frac{\sum (CE_{ad} * \text{Vol. drenado})}{\sum \text{Vol. drenado}} \quad (\text{Eq. 14})$$

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.

### 3.18 - Análises Estatísticas

Os dados foram tabulados e submetidos a análises de variância, de médias e de regressões polinomiais, utilizando-se o software estatístico SISVAR-ESAL (Lavras, MG). Os contrastes entre as médias qualitativas relacionadas às cultivares – ‘Cv’ (BRS Nordestina e BRS Paraguaçu) foram avaliados pelo teste de Tukey ou simplesmente pelo teste “F” a (5 % de probabilidade), que é conclusivo para um contraste simples. Os graus de liberdade dos tratamentos ‘Nr’ (níveis de reposição da evapotranspiração) foram decompostos em componentes de regressão polinomial em virtude de se tratar de fator quantitativo; adotou-se para a construção das curvas o maior grau de regressão significativo. Quando houve interação (Nr x Cv) significativa os graus de liberdade da interação foram decompostos (GOMES, 1982; SANTOS, MOREIRA & BELTRÃO, 1998; FERREIRA, 2000).

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Altura de Planta (AP)

Com base nos resultados obtidos da análise de variância (Tabela 22) houve efeito altamente significativo dos níveis de reposição da evapotranspiração (Nr) sobre a altura das plantas, nas quatro épocas de avaliação. De acordo com as equações de regressão, o modelo que melhor ajustou os dados aos 48 e 90 dias após a semeadura-DAS, foi o cúbico (Figura 6A); com base nas equações, observou-se, aos 48 DAS, incremento entre Nr<sub>1</sub> (0,60 ETc) e Nr<sub>4</sub> (1,05 ETc) de 28,59 % e, aos 90 DAS, menor incremento, 18,44 % entre Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub> (1,20 ETc). Aos 132 e 174 DAS, com efeito linear e quadrático (Figura 6B), observaram-se incrementos entre Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub> de 28,09 e 32,47 %, respectivamente, mediante o uso das equações matemáticas. Portanto, nota-se ser a mamoneira sensível ao estresse hídrico diminuindo o crescimento em altura, notadamente quando irrigada com nível de 60 % da evapotranspiração.

É importante notar que as plantas cresceram de forma mais acentuada entre 48 e 90 DAS, diminuindo de intensidade nos períodos seguintes (Figuras 6C e 6D). Verifica-se, pelo teste de comparação de médias, que a altura da cultivar BRS Paraguaçu foi significativamente maior ao longo do experimento (Tabela 22 e Figura 6D), diferindo das características apresentadas na Tabela 15, em que a BRS Nordestina é maior. Barros Júnior et al. (2004a), trabalhando com água de abastecimento com as mesmas cultivares e os níveis de 40, 60, 80 e 100 % de água disponível, verificaram que apenas aos 60 DAS a altura da cultivar BRS Paraguaçu foi significativamente maior. Os mesmos autores concluíram que as cultivares são sensíveis à escassez de água no solo.

A ausência de interação significativa (Nr x Cv) para a 'AP' denota que o efeito de 'Nr' sobre as cultivares ocorreu de modo semelhante (Tabela 22). Nascimento et al. (2004a) afirmaram que a altura da mamoneira se ajustou ao modelo linear logístico, em que o crescimento aumentou com a aplicação de água residuária, ao longo do tempo. Barros Júnior (2007) verificou que a altura média final (180 DAS) das plantas cultivadas sem estresse (100 % de água disponível) foi de 1,28 m. Nesta pesquisa foi possível estimar, aos 174 DAS, altura média de 1,49 m nas plantas irrigadas com 100 % da evapotranspiração; tal diferença pode ser atribuída ao aporte de nutrientes da água residuária o qual contribuiu para o maior crescimento das plantas. Lacerda (2006) observou incremento linear na altura da cultivar BRS Paraguaçu com o aumento da disponibilidade hídrica no solo e que as plantas conduzidas em

substrato mais rico em matéria orgânica (25 g kg<sup>-1</sup>) foram significativamente maiores que aquelas cultivadas em ambiente mais pobre (5 g kg<sup>-1</sup>).

Em recente pesquisa com a cultivar BRS Nordestina irrigada com águas residuárias tratadas de três indústrias de Campina Grande-PB, Xavier (2007) constatou melhores resultados de crescimento nas plantas conduzidas com 100 % AD.

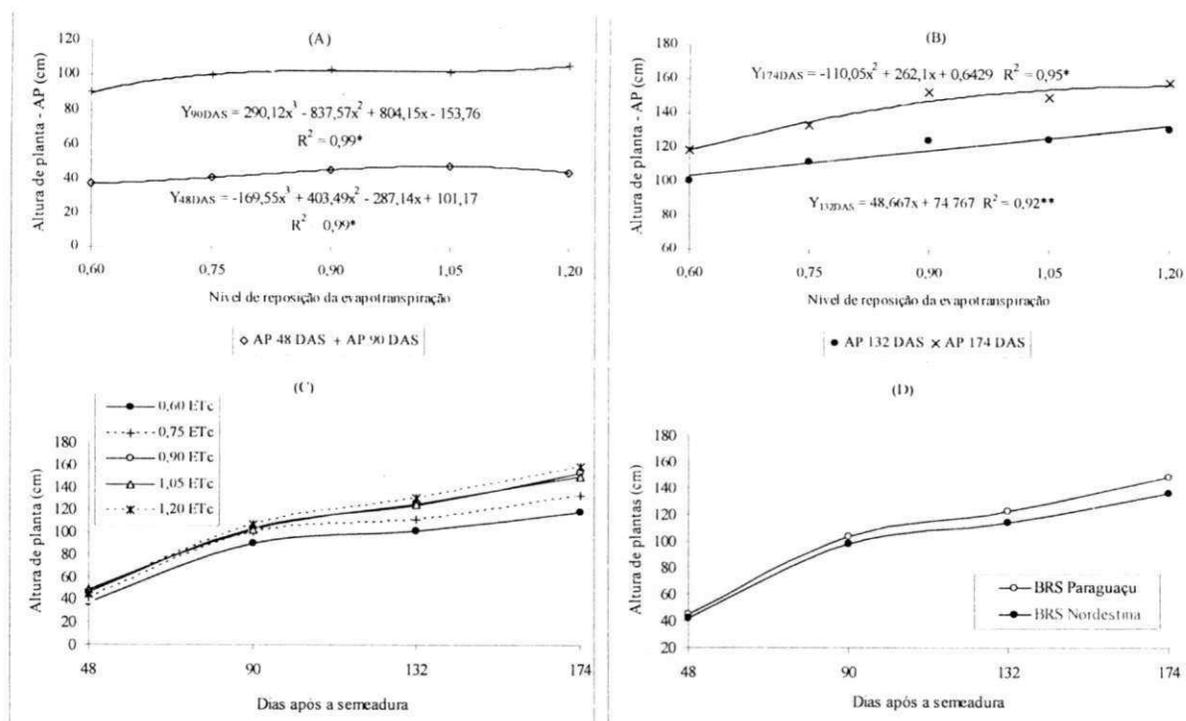
De acordo com Santos et al. (2004), o crescimento da mamoneira é prejudicado quando cultivada em solo com baixos teores de nutrientes, haja vista que esta planta demanda grande quantidade de nitrogênio para obter crescimento e produção satisfatória.

Tendo em vista que se fez somente adubação de fundação (não foram feitas adubações de cobertura), o aporte de nutrientes para o crescimento da mamoneira foi retirado na sua maior parte da água residuária utilizada na irrigação, principalmente nitrogênio, nutriente de maior importância para o crescimento das plantas. O efluente de esgoto aportava concentrações de N variando entre 25,68 e 39,07 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 18), porém inferiores às concentrações registradas por outros pesquisadores, aproximadamente 50 mg L<sup>-1</sup> (MEDEIROS et al., 2005; FEIGIN et al., 1991) ou mesmo 60 mg L<sup>-1</sup> (ALVES, 2006).

**Tabela 22** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para altura de planta (AP) aos 48, 90, 132 e 174 dias após a semeadura. Campina Grande - PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		AP48	AP90	AP132	AP174
Nível de reposição (Nr)	4	<b>106,3878**</b>	<b>243,7375**</b>	<b>868,7167**</b>	<b>1593,4667**</b>
Regr. Linear	1	<b>271,3627**</b>	<b>759,7042**</b>	<b>3197,4000**</b>	<b>5529,6000**</b>
Regr. Quadrática	1	<b>125,3186**</b>	<b>125,0744*</b>	189,0000 <sup>NS</sup>	<b>515,0476*</b>
Regr. Cúbica	1	<b>28,29067*</b>	<b>82,8375*</b>	9,6000 <sup>NS</sup>	24,0667 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,5794 <sup>NS</sup>	7,3339 <sup>NS</sup>	78,8667 <sup>NS</sup>	305,1524 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	<b>62,4963**</b>	<b>258,1333**</b>	<b>488,0333**</b>	<b>1216,0333**</b>
Blocos	2	9,1510 <sup>NS</sup>	11,4250 <sup>NS</sup>	48,1333 <sup>NS</sup>	46,6333 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	5,0038 <sup>NS</sup>	35,1958 <sup>NS</sup>	94,6167 <sup>NS</sup>	186,5333 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	4,2043	14,4157	48,0963	70,8926
CV(%)	-	4,71	3,77	5,85	5,91
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (cm)</b>			
BRS Paraguauçu		44,9733 <b>a</b>	103,5333 <b>a</b>	122,6000 <b>a</b>	148,8000 <b>a</b>
BRS Nordestina		42,0867 <b>b</b>	97,6667 <b>b</b>	114,5333 <b>b</b>	136,0067 <b>b</b>
DMS		1,5730	2,9127	5,3203	6,4592

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F  
Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 6** – Altura de plantas de mamoneira aos 48 e 90 dias após a semeadura – DAS (A), aos 132 e 174 DAS (B), variação temporal por nível de reposição (C) e por cultivar (D). Campina Grande - PB, 2006

#### 4.2 – Diâmetro Caulinar (DC)

Os dados do diâmetro do caule ajustaram-se ao modelo quadrático, na primeira avaliação (48 DAS), enquanto nas demais (90, 132 e 174 DAS) o diâmetro variou linearmente ( $P < 1\%$ ) sobre o diâmetro caulinar (Tabela 23). À semelhança da ‘AP’, o diâmetro foi intensamente afetado pela baixa disponibilidade de água no solo. O crescimento do ‘DC’ em função dos níveis de reposição da ‘ETc’ está apresentado na Figura 7A. Constata-se pelos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), alto grau de associação entre o nível de reposição de água e as variáveis avaliadas. Os acréscimos verificados no ‘DC’ entre  $Nr_1$  (0,60 ETC) e  $Nr_5$  (1,20 ETC) (com base nos modelos matemáticos apresentados na Figura 7) foram 39,63, 20,74, 24,18 e 25,67 % aos 48, 90, 132 e 174 DAS, respectivamente, com maior sensibilidade na fase inicial de crescimento, caso em que se deduz que plantas cultivadas sem restrição hídrica devem ser mais resistentes ao tombamento devido aos caules mais robustos. No que diz respeito às médias de ‘DC’ das duas cultivares, não se verificou diferença significativa. A ausência de interação significativa, também para ‘DC’, denota que o efeito de ‘Nr’ sobre as cultivares ocorreu de modo semelhante (Tabela 23).

Barros Júnior et al. (2004a), trabalhando com água de abastecimento com as mesmas cultivares e os níveis de 40, 60, 80 e 100 % de água disponível, também não verificaram diferença significativa entre as duas cultivares, em termos de DC aos 60, 120 e

180 DAS. A constatação de não significância estatística, entre as médias das cultivares, é uma evidência que a BRS Paraguaçu e a BRS Nordestina crescem de forma semelhante à disponibilidade hídrica no solo.

Neste trabalho se observou diâmetro caulinar médio superior a 32,0 mm, maior que os 23,0 mm obtidos por Barros Júnior (2007) em estudo similar, porém com água de abastecimento, cuja grande diferença pode ser atribuída ao aporte de nutrientes da água residuária aqui utilizada. Lacerda (2006) observou, aos 120 dias da semeadura, diâmetro caulinar médio de 30,33 mm nas plantas da cultivar BRS Paraguaçu em solo com 2,50 % de matéria orgânica, sem, entretanto, diferir do diâmetro das plantas cultivadas em solo contendo 0,50 % de matéria orgânica (28,75 m). Silva et al. (2004), em estudos de avaliação preliminar de cultivares da mamona sob condições semi-áridas, observaram diâmetro médio de 32,3 mm para a BRS Nordestina e 30,8 mm para a BRS Paraguaçu, resultados estes mais próximos dos obtidos no presente estudo. Por sua vez, Albuquerque et al. (2006) verificaram que o diâmetro caulinar é afetado por doses de nitrogênio, sem, entretanto, ser influenciado por diferentes fontes desse macronutriente.

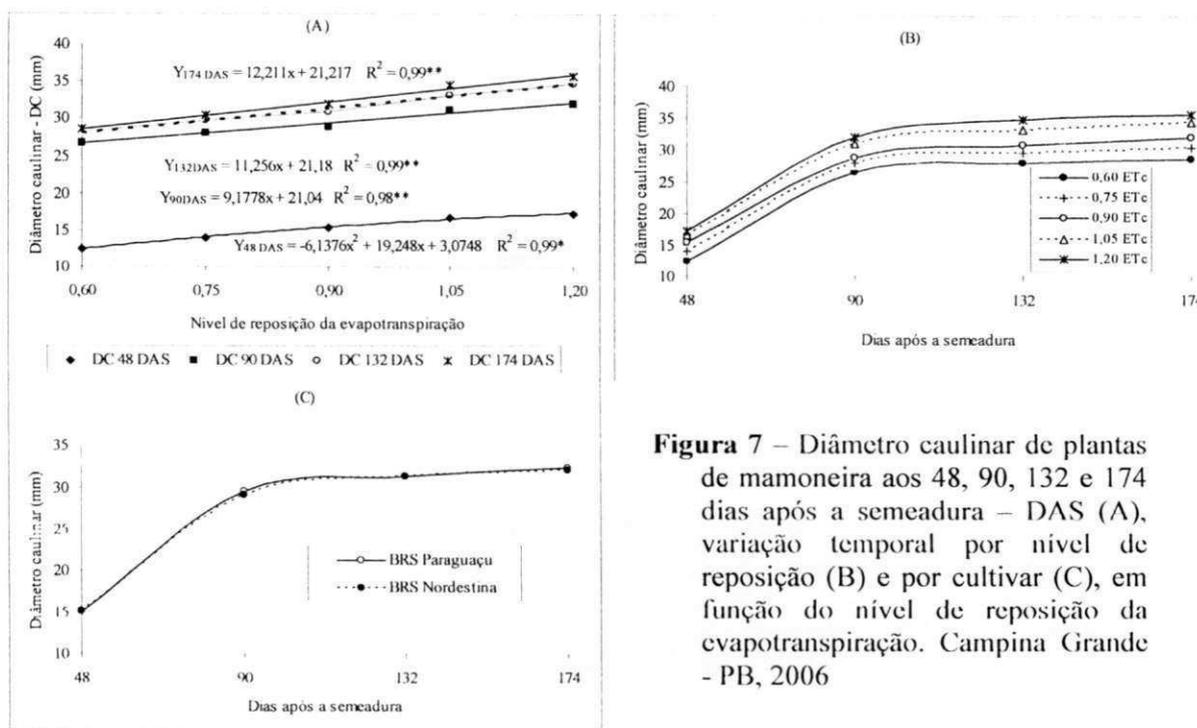
Xavier (2007) notou diferenças significativas entre os diâmetros das plantas da cultivar BRS Nordestina irrigadas com águas residuárias de três indústrias de Campina Grande, PB, em que as diferenças foram atribuídas ao aporte de nutrientes das águas; de forma análoga à variável anterior (altura de planta), o autor observou maior crescimento do diâmetro com os níveis de 80 e 100 % de água disponível.

**Tabela 23** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para diâmetro caulinar (DC) aos 48, 90, 132 e 174 dias após a semeadura. Campina Grande - PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		DC48	DC90	DC132	DC174
Nível de reposição (Nr)	4	<b>23,1592**</b>	<b>28,9133**</b>	<b>43,1547**</b>	<b>50,8333**</b>
Regr. Linear	1	<b>90,7740**</b>	<b>113,7127**</b>	<b>171,0282**</b>	<b>201,3002**</b>
Regr. Quadrática	1	<b>1,6019*</b>	0,2305 <sup>NS</sup>	0,6001 <sup>NS</sup>	0,0268 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,1602 <sup>NS</sup>	0,4507 <sup>NS</sup>	0,1127 <sup>NS</sup>	0,7707 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,1006 <sup>NS</sup>	1,2595 <sup>NS</sup>	0,8777 <sup>NS</sup>	1,2377 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,2010 <sup>NS</sup>	2,0710 <sup>NS</sup>	0,2920 <sup>NS</sup>	1,0643 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	0,1470 <sup>NS</sup>	1,6333 <sup>NS</sup>	0,1203 <sup>NS</sup>	1,0453 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	0,6478 <sup>NS</sup>	0,1350 <sup>NS</sup>	1,9103 <sup>NS</sup>	1,3262 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,3432	0,7940	2,3990	2,3247
CV(%)	-	3,87	3,04	4,95	4,73
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (mm)</b>			
BRS Paraguaçu		15,0800	29,5333	31,3733	32,3933
BRS Nordestina		15,2200	29,0667	31,2467	32,0200
DMS		0,4493	0,6833	1,1882	1,1697

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

Pelas Figuras 7B e 7C se constata que o diâmetro caulinar da mamoneira cresce de forma mais acentuada até três meses após o plantio e que há semelhança entre as cultivares. Ainda pela Figura 7B se observa, pelo paralelismo das curvas, que o efeito entre as lâminas de irrigação foi semelhante ao longo do tempo, diferente do que foi observado para a altura de plantas (Figura 6C).



**Figura 7** – Diâmetro caulinar de plantas de mamoneira aos 48, 90, 132 e 174 dias após a semeadura – DAS (A), variação temporal por nível de reposição (B) e por cultivar (C), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.3 – Número de Folhas (NF)

Os resumos das análises de variância desta variável ao longo do tempo, estão apresentados na Tabela 24. Observa-se que os níveis de reposição afetaram significativamente o número de folhas, ao nível de 0,01 de probabilidade, pelo teste F, notando-se efeitos significativos lineares aos 48, 90 e 174 DAS e quadrático aos 132 DAS. O número de folhas (NF) das cultivares, seja sob efeito linear ou quadrático, aumentou com o incremento do nível de reposição da evapotranspiração. Os acréscimos no 'NF', estimados a partir dos modelos matemáticos, apresentados na Figura 8, entre  $Nr_1$  e  $Nr_5$ , foram 95,42, 35,62, 157,13 e 47,41 % aos 48, 90, 132 e 174 DAS, respectivamente.

Mesmo com crescimento considerado satisfatório em condições de seca e/ou baixa precipitação pluviométrica, ficou evidenciada a sensibilidade da mamoneira à condição de estresse hídrico (baixos níveis de reposição de água) a que foram submetidas. Em trabalho similar, porém, com água de abastecimento, Barros Júnior et al. (2004a), pesquisando as

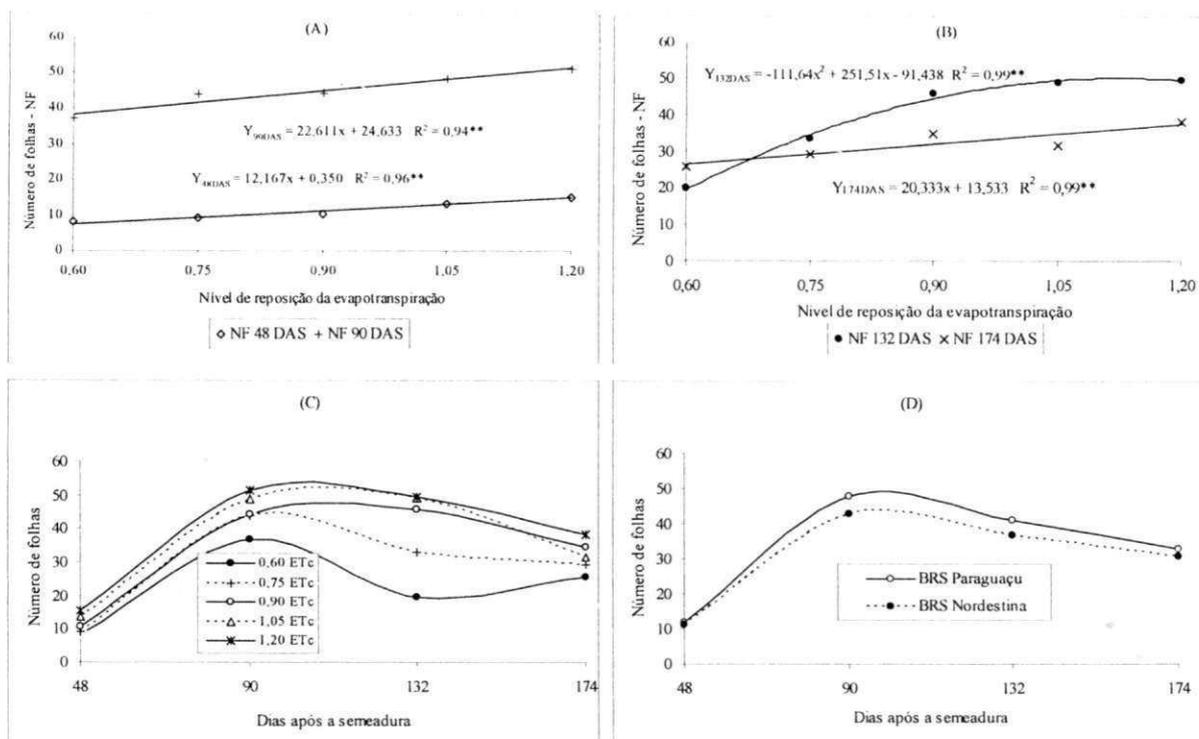
mesmas cultivares obtiveram resultados semelhantes. Pelas médias apresentadas na Tabela 24 e ilustradas na Figura 8D, observou-se crescimento similar entre as duas cultivares, porém a cultivar BRS Paraguaçu com tendência de produzir maior 'NF'. A ausência de interação significativa entre os fatores é um indicativo do efeito das lâminas de irrigação sobre o número de folhas, independente da cultivar (Tabela 24). Como se observa na Figura 8C, o 'NF' aumentou com o incremento do conteúdo de água no solo e, depois dos 100 DAS, nota-se redução de folhas em relação a todos os tratamentos, devido à senescência, porém se verifica que após 132 DAS, as únicas plantas com ganho de folhas foram aquelas conduzidas com o índice de reposição mais baixo, com redução dos efeitos em relação aos demais tratamentos. Salienta-se que a recuperação do número de folhas, com 0,60 ETc, após 132 DAS, não resultou em aumento da área foliar, uma vez que não houve expansão do limbo.

Pela Figura 8C visualiza-se bem a superioridade das plantas cultivadas com elevada disponibilidade de água. Barros Júnior (2007) ao submeter a mamoneira a diferentes níveis de água disponível no solo em ambiente protegido, verificou decréscimo acentuado na quantidade de folhas das cultivares testadas, com média de 13,08 folhas/planta, bem inferior à média obtida nesta pesquisa, 31,83 folhas/planta aos 174 DAS.

**Tabela 24** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para número de folhas (NF) aos 48, 90, 132 e 174 dias após a semeadura. Campina Grande - PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		NF48	NF90	NF132	NF174
Nível de reposição (Nr)	4	<b>52,0750**</b>	<b>183,9458**</b>	<b>1000,7833**</b>	<b>140,0833*</b>
Regr. Linear	1	<b>203,8375**</b>	<b>690,2042**</b>	<b>3450,4167**</b>	<b>448,2667**</b>
Regr. Quadrática	1	1,5030 <sup>NS</sup>	6,0268 <sup>NS</sup>	<b>530,0119**</b>	2,3333 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	1,3500 <sup>NS</sup>	15,5042 <sup>NS</sup>	1,6667 <sup>NS</sup>	36,8167 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	1,6095 <sup>NS</sup>	24,0482 <sup>NS</sup>	21,0381 <sup>NS</sup>	72,9167 <sup>NS</sup>
Blocos	2	4,3750*	59,2583 <sup>NS</sup>	177,7333 <sup>NS</sup>	28,6333 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	3,3333 <sup>NS</sup>	<b>175,2083**</b>	128,1333 <sup>NS</sup>	28,0333 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	0,4583 <sup>NS</sup>	41,7708 <sup>NS</sup>	38,2167 <sup>NS</sup>	47,6167 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,9769	19,8139	55,4370	45,2259
CV(%)	-	8,75	9,90	18,87	21,13
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias</b>			
BRS Paraguaçu		11,6333	47,8567 <b>a</b>	41,0533	32,8000
BRS Nordestina		10,9667	42,9833 <b>b</b>	36,6200	30,8667
DMS		0,7582	3,4148	5,7119	5,1591

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 8** – Número de folhas da mamoneira aos 48 e 90 dias após a semeadura – DAS (A), aos 132 e 174 DAS (B), variação temporal por nível de reposição (C) e por cultivar (D), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.4 – Área Foliar (AF)

Observaram-se em área foliar, efeitos lineares altamente significativos ( $P < 1\%$ ) nas quatro épocas, com o incremento do nível de reposição da evapotranspiração; entretanto, aos 132 DAS também houve efeito cúbico (Tabela 25). Os acréscimos sobre a área foliar das plantas submetidas ao nível 1,20 ETc relativos a 0,60 ETc (segundo modelos matemáticos apresentados na Figura 9A e 9B), foram 178,87, 70,68, 159,82 e 105,00 % aos 48, 90, 132 e 174 DAS, respectivamente. A maior área foliar foi observada após 90 DAS (por volta dos 100 DAS) sob todos os níveis de reposição da ETc (Figura 9C).

Ao final desta pesquisa, se observou com o nível mais baixo de reposição, que a altura da planta, o diâmetro caulinar, o número de folhas e a área foliar foram reduzidos na ordem de 32,47, 25,67, 47,41 e 105,00 %, respectivamente; deduziu-se então que a ‘AF’, aparelho assimilatório, foi dentre as variáveis de crescimento, a mais afetada, essa situação evidencia a sensibilidade das cultivares quanto à condição de estresse hídrico (baixos níveis de reposição de água) a que foram submetidas. 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), corroborando com os resultados desta pesquisa.

Segundo Fageria (1989), em situações de estresse hídrico a grande maioria dos vegetais busca alternativas para diminuir o consumo de água reduzindo principalmente a transpiração e, dentro das adaptações mais conhecidas, o autor cita a diminuição da área foliar diminuindo, em consequência as perdas de água por transpiração. Mediante análise da Figura 9C verifica-se que a redução da área foliar ocorre de início, nas plantas submetidas aos menores níveis de reposição de água e que a 'AF' evolui de forma linear até cerca de 100 dias; situação semelhante foi encontrada por Barros Júnior (2007); o autor verificou que, quanto menor o conteúdo de água no solo, mais precocemente surgem reduções na área foliar.

Aos 48 e 90 DAS observou-se maior 'AF' nas plantas da cultivar BRS Nordestina, sendo 11,53 e 5,11 % maior que a BRS Paraguaçu; entretanto, a diferença foi suprimida ao longo do tempo; provavelmente esta inferioridade da BRS Paraguaçu esteja ligada às deficiências de zinco e cobre manifestadas no limbo foliar durante a fase vegetativa, de modo que ocorre impedimento da expansão do limbo foliar. Na Figura 9D está representada a evolução da área foliar das duas cultivares pesquisadas; deduz-se que, em média, o máximo de área foliar ocorreu por volta dos 100 DAS, fato semelhante ao observado com o número de folhas. A ausência de interação significativa para 'AF' denota que o efeito de 'Nr' sobre 'Cv' ocorreu de modo independente das duas cultivares (Tabela 25).

Xavier (2007) também notou, em pesquisa com a cultivar BRS Nordestina com águas residuárias tratadas de três indústrias de Campina Grande, PB, comportamento semelhante ao da área foliar, com tendência de decréscimo após os 90 DAS. À semelhança das variáveis anteriores (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 irrigada com os níveis de 80 e 100 % de água disponível. Nas plantas testemunha absoluta (água de abastecimento sem adubação), o autor verificou decréscimo acentuado na área foliar, da ordem de 90 %.

Para Benincasa (2003) o declínio da área foliar à medida que as plantas se desenvolvem, também pode ser decorrente do auto sombreamento, o que provocaria a diminuição da área foliar a partir de determinada fase do ciclo fenológico da cultura.

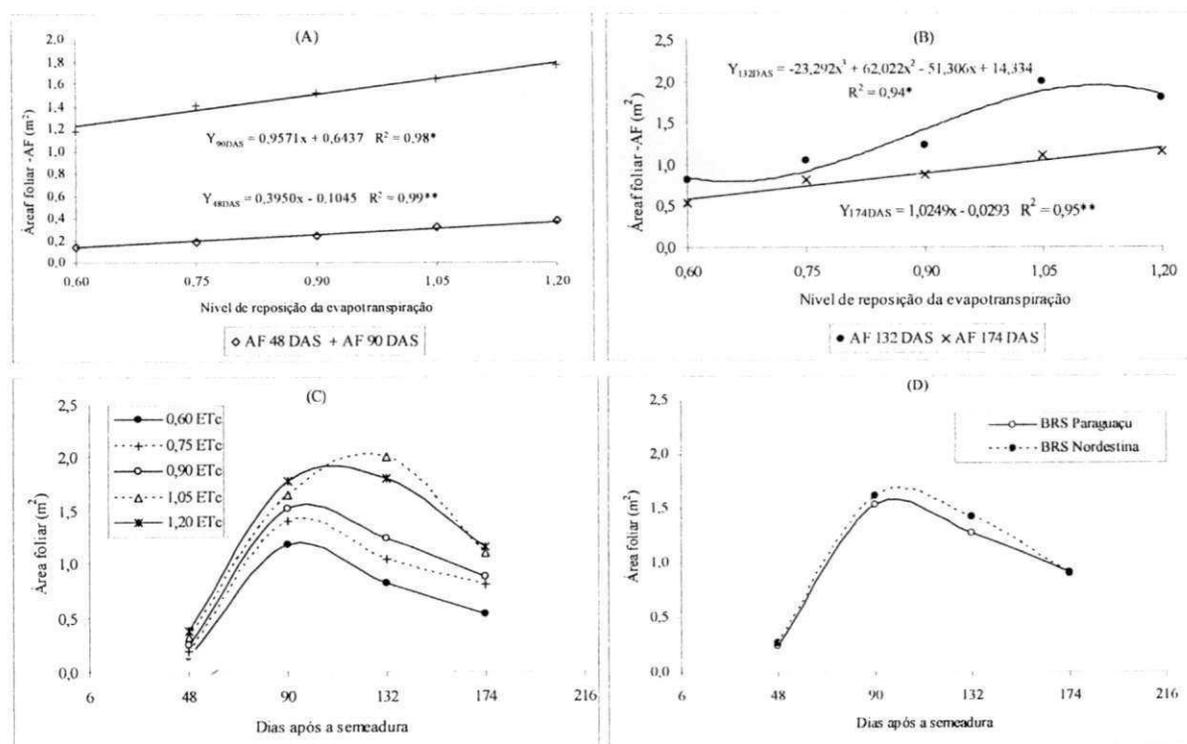
**Tabela 25** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para área foliar (AF) aos 48, 90, 132 e 174 dias após a semeadura. Campina Grande - PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		AF48	AF90	AF132	AF174
Nível de reposição (Nr)	4	<b>0,05301**</b>	<b>0,3153**</b>	<b>1,5248**</b>	<b>0,3729**</b>
Regr. Linear	1	<b>0,2106**</b>	<b>1,2368**</b>	<b>5,1452**</b>	<b>1,4180**</b>
Regr. Quadrática	1	0,00081 <sup>NS</sup>	0,01479 <sup>NS</sup>	0,0319 <sup>NS</sup>	0,02821 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,00053 <sup>NS</sup>	0,00778 <sup>NS</sup>	<b>0,5339*</b>	0,0008 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,000099 <sup>NS</sup>	0,001923 <sup>NS</sup>	0,3883 <sup>NS</sup>	0,0444 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,00018 <sup>NS</sup>	0,0243 <sup>NS</sup>	0,2737 <sup>NS</sup>	0,0116 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	<b>0,00561**</b>	<b>0,0567*</b>	0,1718 <sup>NS</sup>	0,00064 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	0,00054 <sup>NS</sup>	0,0113 <sup>NS</sup>	0,05074 <sup>NS</sup>	0,0062 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,00045	0,0112	0,08676	0,0165
CV(%)	-	8,42	7,03	21,39	14,38

Cultivar (Cv)	Médias (m <sup>2</sup> )			
BRS Paraguaçu	0,2373 <b>b</b>	1,5440 <b>b</b>	1,2720	0,8977
BRS Nordestina	0,2646 <b>a</b>	1,6229 <b>a</b>	1,4210	0,8885
DMS	0,0162	0,0712	0,2260	0,0986

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 9** – Área foliar da mamoneira aos 48 e 90 dias após a semeadura – DAS (A), aos 132 e 174 DAS (B), variação temporal por nível de reposição (C) e por cultivar (D), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.5 – Taxas de Crescimento

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 (BENINCASA, 2003).

##### Taxa de Crescimento Absoluto em Altura (TCA Alt.)

Pelas análises estatísticas observaram-se efeitos significativos dos níveis de reposição sobre a taxa de crescimento absoluto em altura, ao nível de 0,01 de probabilidade, pelo teste F, nos quatro períodos (Tabela 26). O teor de água no solo afetou significativamente ( $P < 0,01$ ) o crescimento da parte aérea. Com base nas equações apresentadas na Figura 10A e 10B, constatou-se que no primeiro período (27-48 DAS), segundo equação cúbica, houve um acréscimo de 40,16 % entre  $Nr_1$  e  $Nr_4$  e 27,25 % entre  $Nr_1$  e  $Nr_5$ ; enquanto que para o último período (132-174 DAS) o acréscimo entre esses níveis, segundo equação linear, foi de 50,39 %, denotando maior sensibilidade da planta na fases de frutificação e maturação em relação ao crescimento inicial. Confirma-se a superioridade das plantas cultivadas em solo com maior disponibilidade hídrica e a sensibilidade das cultivares à redução da fração de reposição da evapotranspiração.

Constatou-se interação significativa em dois períodos: 48-90 e 90-132 DAS, com regressões cúbicas e quadráticas, respectivamente, indicando que os efeitos dos níveis de reposição foram diferentes dentro das duas cultivares estudadas (Figura 10B e 10C); verifica-se, pela Tabela 27, taxa de crescimento significativamente maior da BRS Paraguaçu dos 48-90 DAS dentro dos níveis de reposição  $Nr_1$  e  $Nr_5$  e no período seguinte, 90-132 DAS, a superação foi dentro de  $Nr_4$ . Ainda pela Tabela 26, nota-se no geral, maior taxa de crescimento da cultivar BRS Paraguaçu.

Mediante observação na Figura 10E, na qual consta a variação das taxas entre os períodos avaliados, nota-se maior taxa de crescimento diário entre 48 e 90 DAS, com média de  $1,36 \text{ cm dia}^{-1}$ . Barros Júnior (2007) registrou, em pesquisa semelhante, taxas de crescimento bem inferiores, utilizando porém, água de abastecimento; as maiores taxas observadas pelo mencionado autor ocorreram na primeira avaliação (20 a 40 DAS) com médias de  $1,23$  e  $1,28 \text{ cm dia}^{-1}$  para as cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu, esta última com taxa significativamente maior; entretanto, no final do experimento (160 a 180

DAS), à semelhança desta pesquisa (132 a 174 DAS) não se constatou diferença significativa entre ambas as cultivares. Para Larcher (2000) paralisações no crescimento vegetativo em função da aceleração do crescimento produtivo, como verificado nesta pesquisa (principalmente no número de folhas e área foliar), ocorrem pela canalização da energia, de nutrientes e assimilados destinados à floração e frutificação que, por sua vez, se originam no processo fotossintético, na incorporação de substâncias minerais e na mobilização de reservas para formação e enchimento dos frutos.

**Tabela 26** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para taxa de crescimento absoluto da altura (TCA Alt.) em quatro períodos (27-48, 48-90, 90-132 e 132-174 dias após a semeadura). Campina Grande - PB, 2006

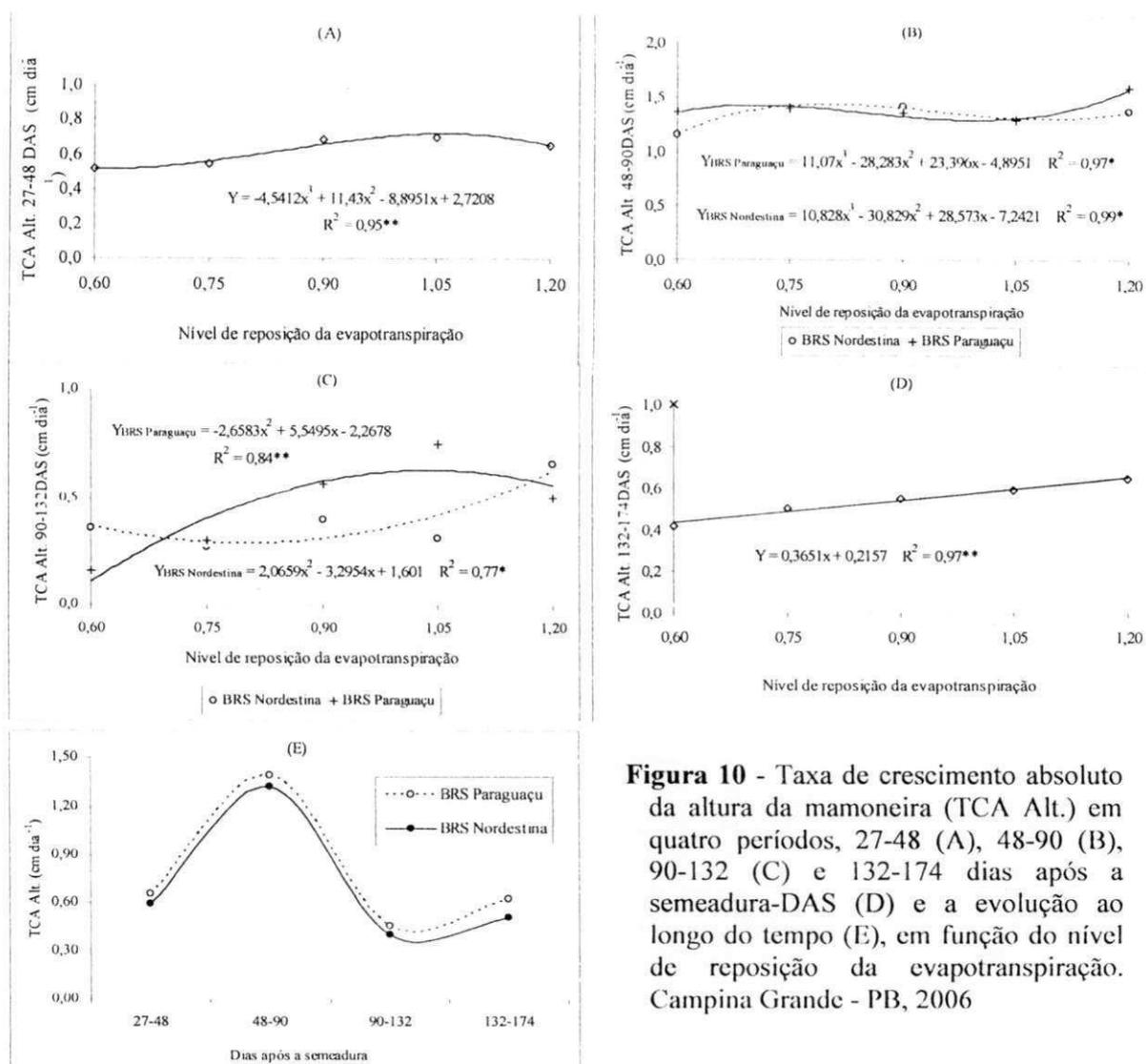
Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		TCA Alt <sub>27-48</sub>	TCA Alt <sub>48-90</sub>	TCA Alt <sub>90-132</sub>	TCA Alt <sub>132-174</sub>
Nível de reposição (Nr)	4	<b>0,184694**</b>	<b>0,048633**</b>	<b>0,130506**</b>	<b>0,067243**</b>
Regr. Linear	1	<b>0,450268**</b>	<b>0,069885**</b>	<b>0,476257**</b>	<b>0,258400**</b>
Regr. Quadrática	1	<b>0,200774**</b>	0,000002 <sup>NS</sup>	0,003731 <sup>NS</sup>	0,004537 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	<b>0,072516*</b>	<b>0,117980**</b>	0,020432 <sup>NS</sup>	0,001849 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,015220 <sup>NS</sup>	0,006664 <sup>NS</sup>	0,021603 <sup>NS</sup>	0,00418 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,001135 <sup>NS</sup>	0,002376 <sup>NS</sup>	0,015444 <sup>NS</sup>	0,004895 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	0,024912 <sup>NS</sup>	<b>0,037829*</b>	0,020572 <sup>NS</sup>	<b>0,092585**</b>
Interação (Nr x Cv)	4	0,023174 <sup>NS</sup>	<b>0,027357*</b> (Tabela 27)	<b>0,100524**</b> (Tabela 27)	0,018565 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,009572	0,007771	0,018211	0,007414
CV(%)	-	15,58	6,49	31,55	15,15
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (cm dia<sup>-1</sup>)</b>			
BRS Paraguaçu		0,6568	1,3948 <b>a</b>	0,4540	0,6238 <b>a</b>
BRS Nordeste		0,5992	1,3238 <b>b</b>	0,4016	0,5127 <b>b</b>
DMS		0,0751	0,0676	0,1035	0,0660

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F  
Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey

**Tabela 27** - Desdobramento das interações significativas e médias das cultivares para TCA Alt.48-90DAS e TCA Alt.90-132DAS. Campina Grande – PB, 2006

Fonte de Variação	Quadrados Médios	
	TCA Alt. 48-90 DAS	TCA Alt. 90-132 DAS
<b>Nr em Cv<sub>1</sub></b>		
Reg. Linear	0,0329 <sup>NS</sup>	0,12096*
Reg. Quadrática	0,0540*	0,19075*
Reg. Cúbica	0,0577*	0,01429 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	0,0172 <sup>NS</sup>	0,04956 <sup>NS</sup>
<b>Nr em Cv<sub>2</sub></b>		
Reg. Linear	0,0370*	0,1946**
Reg. Quadrática	0,0548*	0,4503**
Reg. Cúbica	0,0603*	0,0035 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	0,0055 <sup>NS</sup>	0,0002 <sup>NS</sup>
Resíduo	0,007771	0,018211
<b>Cv em Nr</b>	<b>Médias (cm dia<sup>-1</sup>)</b>	
<b>Cv em Nr<sub>1</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	1,14483 <b>b</b>	0,36110
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	1,35713 <b>a</b>	0,16267
<b>Cv em Nr<sub>2</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	1,40277	0,27380
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	1,39283	0,28570
<b>Cv em Nr<sub>3</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	1,41270	0,40080
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	1,35317	0,56747
<b>Cv em Nr<sub>4</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	1,29363	0,31350 <b>b</b>
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	1,28373	0,75000 <b>a</b>
<b>Cv em Nr<sub>5</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	1,36510 <b>b</b>	0,65873
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	1,58727 <b>a</b>	0,50397
DMS	0,151217	0,231486

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F  
Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 10** - Taxa de crescimento absoluto da altura da mamoneira (TCA Alt.) em quatro períodos, 27-48 (A), 48-90 (B), 90-132 (C) e 132-174 dias após a semeadura-DAS (D) e a evolução ao longo do tempo (E), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

### Taxa de Crescimento Relativo em Altura (TCR Alt.)

Conforme as análises de variância apresentadas na Tabela 28, a 'TCR Alt.' foi influenciada de forma significativa pelo fator 'Nr' nas três primeiras avaliações, ao contrário do fator 'Cv', em que houve diferença significativa apenas no último período, tendo a cultivar BRS Paraguaçu sido mais eficiente na produção de novos tecidos na fase final (132 a 174 DAS), o que resultou em maior TCR. Quanto à interação (Nr x Cv), observou-se efeito significativo no período compreendido entre 90 e 132 DAS, embora com coeficiente de variação (CV) acima de 30 %, evidenciado pela dispersão dos dados médios plotados na Figura 11C.

De acordo com a análise de regressão, a equação quadrática ajustou melhor os dados da primeira avaliação (Figura 11A); neste período notaram-se acréscimos de 82,13 e 69,82 % na TCR 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. No entanto, para a avaliação entre 48 e 90 DAS, os dados se ajustaram mais adequadamente à regressão cúbica (Figura 11B) mas, de modo geral em todos os níveis dentro desse período a TCR se aproximou de  $0,02 \text{ cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  que foi a média para as duas cultivares (Tabela 28).

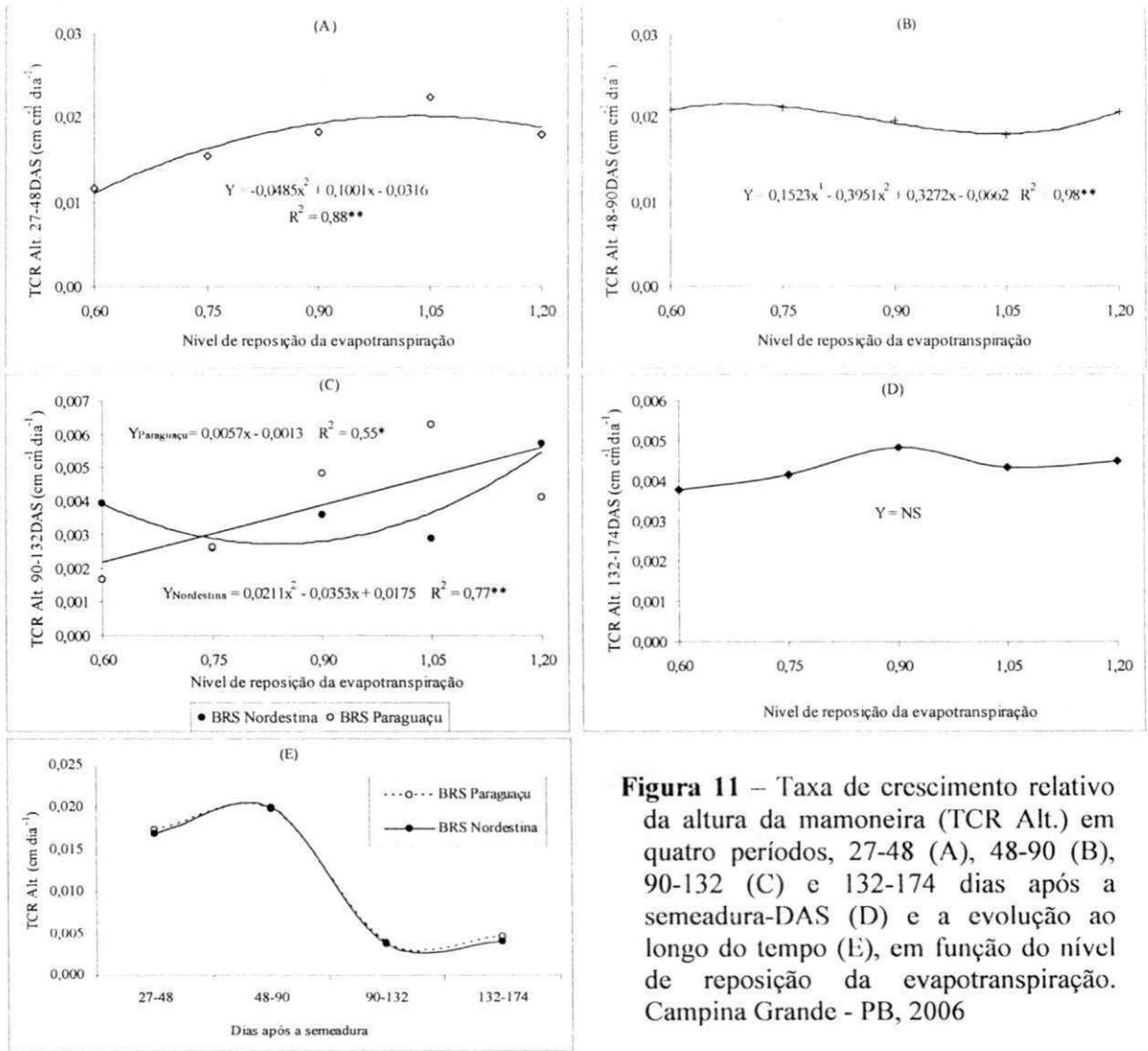
Na Tabela 29 consta o desdobramento da interação (90-132 DAS), o qual está ilustrado na Figura 11C. Com nível mais baixo de água no solo, houve maior TCR da BRS Nordestina, enquanto com o nível de 105% ETc, se teve maior para a BRS Paraguaçu. Nota-se ainda na Figura 11C, além da dispersão dos dados, como já relatado, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) relativamente baixo para a cultivar BRS Paraguaçu.

Pelos resultados nota-se que pode haver, comportamento diferenciado entre as duas cultivares, dependendo da época, no que diz respeito à eficiência da planta em produzir novas células e tecidos, e que as maiores eficiências ocorreram até os 90 dias após a semeadura, com ocorrência de maior produção de material novo. Mediante análise da Figura 11E, verifica-se melhor a variação das taxas entre os diferentes períodos, havendo aumento da taxa de crescimento até o período de 48-90 DAS e redução a partir daí, devido ao desenvolvimento da planta, ou seja, mudança da fase vegetativa para a reprodutiva.

**Tabela 28** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para taxa de crescimento relativo da altura (TCR Alt) em quatro períodos (27-48, 48-90, 90-132 e 132-174 dias após a semeadura). Campina Grande - PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		TCR Alt27-48	TCR Alt48-90	TCR Alt90-132	TCR Alt132-174
Nível de reposição (Nr)	4	<b>0,000092**</b>	<b>0,000010**</b>	<b>0,000007**</b>	9,1133E-07 <sup>NS</sup>
Regr. Linear	1	<b>0,000223**</b>	<b>0,000007*</b>	<b>0,000023**</b>	0,000002 <sup>NS</sup>
Regr. Quadrática	1	<b>0,000100**</b>	<b>0,000011*</b>	0,000000 <sup>NS</sup>	0,000001 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,000033 <sup>NS</sup>	<b>0,000023**</b>	0,000002 <sup>NS</sup>	0,000000 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,000012 <sup>NS</sup>	0,000001 <sup>NS</sup>	0,000001 <sup>NS</sup>	0,000001 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,000003 <sup>NS</sup>	0,000001 <sup>NS</sup>	8,4233E-07 <sup>NS</sup>	2,9033E-07 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	0,000002 <sup>NS</sup>	1,6133E-07 <sup>NS</sup>	1,6133E-07 <sup>NS</sup>	<b>0,000002*</b>
Interação (Nr x Cv)	4	0,000006 <sup>NS</sup>	0,000004 <sup>NS</sup>	<b>0,000008**</b> (Tabela 29)	8,7133E-07 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,000008	0,000001	0,000001	3,5144E-07
CV(%)	-	16,53	5,92	31,16	13,71
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (<math>\text{cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}</math>)</b>			
BRS Paraguaçu		0,0173	0,0199	0,0039	0,0046 <b>a</b>
BRS Nordestina		0,0169	0,0200	0,0037	0,0041 <b>b</b>
DMS		0,0022	0,0009	0,0009	0,0004

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F  
Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 11** – Taxa de crescimento relativo da altura da mamoneira (TCR Alt.) em quatro períodos, 27-48 (A), 48-90 (B), 90-132 (C) e 132-174 dias após a semeadura-DAS (D) e a evolução ao longo do tempo (E), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

**Tabela 29** - Desdobramento das interações significativas e médias das cultivares para TCR Alt.90-132DAS. Campina Grande – PB, 2006

Fonte de Variação	Quadrados Médios
	TCR Alt. 90-132 DAS
<b>Nr em Cv<sub>1</sub></b>	
Reg. Linear	0,000005 <sup>NS</sup>
Reg. Quadrática	0,000019**
Reg. Cúbica	0,000000 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	0,000004 <sup>NS</sup>
<b>Nr em Cv<sub>2</sub></b>	
Reg. Linear	0,000022*
Reg. Quadrática	0,000011*
Reg. Cúbica	0,000007*
Regr. 4º Grau	0,000000 <sup>NS</sup>
Resíduo	0,000001
<b>Cv em Nr</b>	<b>Médias (cm cm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>
<b>Cv em Nr<sub>1</sub></b>	
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	0,003933 <b>a</b>
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	0,001633 <b>b</b>
<b>Cv em Nr<sub>2</sub></b>	
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	0,002600
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	0,002633
<b>Cv em Nr<sub>3</sub></b>	
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	0,003600
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	0,004833
<b>Cv em Nr<sub>4</sub></b>	
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	0,002900 <b>b</b>
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	0,006300 <b>a</b>
<b>Cv em Nr<sub>5</sub></b>	
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	0,005733
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	0,004100
<b>DMS</b>	0,002045

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey

### Taxa de Crescimento Absoluto em Diâmetro Caulinar (TCA D)

A variável ‘TCA D’ foi influenciada significativamente ( $P < 0,01$ ) pelos níveis de reposição da evapotranspiração apenas no primeiro período, 27-48 DAS (Tabela 30); nos demais intervalos não se verificou efeito significativo. As análises da taxa de crescimento absoluto do diâmetro caulinar nos últimos períodos (90-132 e 132-174 DAS) foram efetuadas com base nos dados transformados em  $(x+1)^{1/2}$ , visto que se verificou não haver normalidade dos dados e ausência de homogeneidade das variâncias dos respectivos tratamentos (FERREIRA, 2000); ainda assim, não se constatou efeito após as transformações.

Ficou evidenciado, portanto, que a ‘TCA D’ da cultura da mamoneira é afetada linearmente no período inicial de crescimento. Tomando-se como base a equação de ajuste, para o período de 27-48 DAS, notou-se um acréscimo de cerca de 110 % entre as plantas irrigadas com 0,60 ETc e 1,20 ETc (Figura 12A). Na Figura 12E estão plotadas as diferentes

'TCA D' obtidas (todas com dados originais). Nos períodos de 27 a 48 e 48 a 90 DAS, observaram-se maiores taxas devido ao crescimento mais progressivo nesta fase, havendo redução a partir daí.

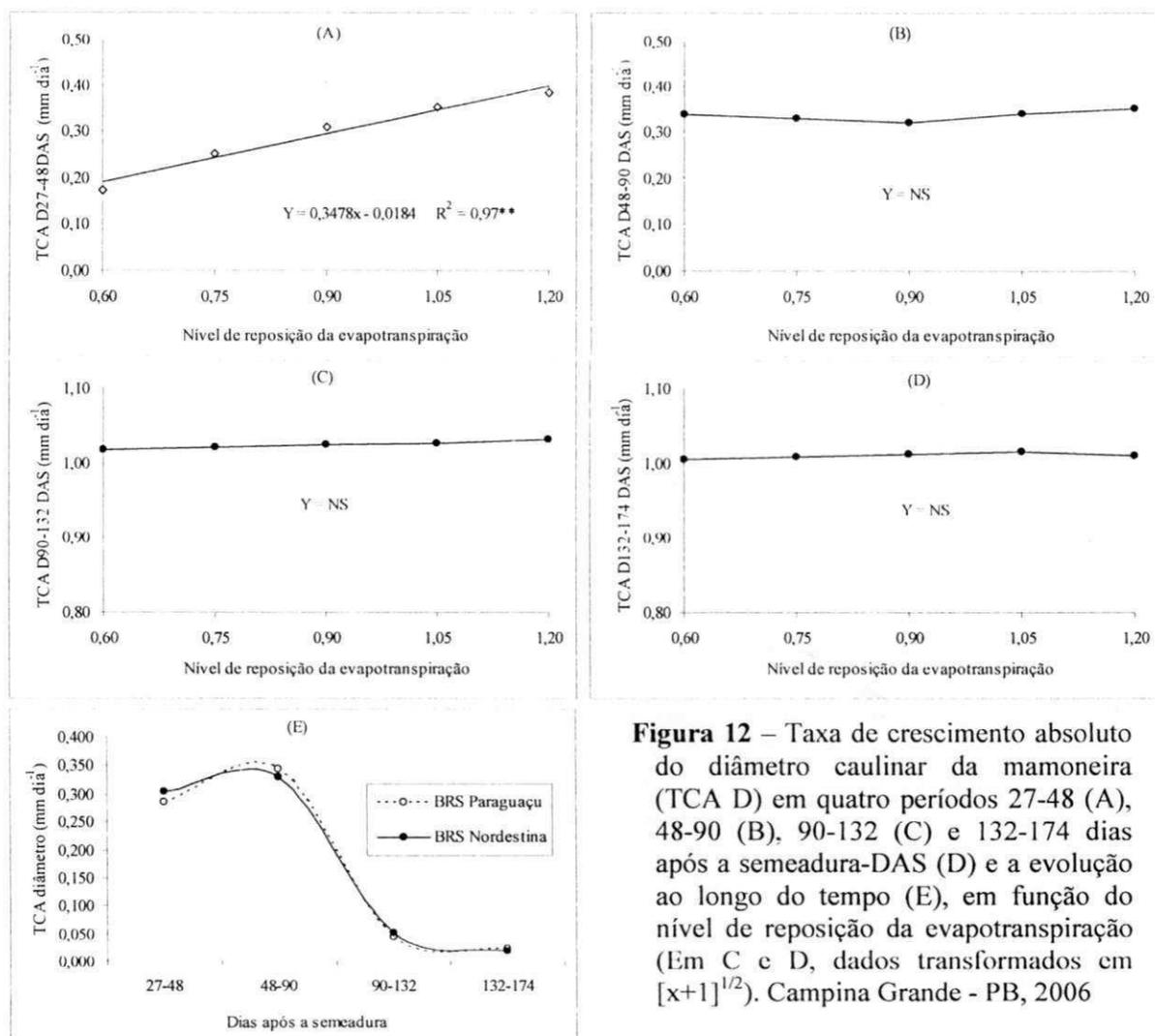
Quanto ao fator 'cultivar', à semelhança do fator 'Nr', só houve efeito na primeira avaliação (27-48 DAS), quando a média da cultivar BRS Nordestina superou a média da BRS Paraguaçu. Lopes, Beltrão & Lopes Neto (2006) concluíram, ao estudarem taxas de crescimento de quatro genótipos de mamoneira, dentre eles a BRS Nordestina, que o crescimento caulinar e foliar foi similar para todos os genótipos.

**Tabela 30** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para taxa de crescimento absoluto do diâmetro caulinar (TCA D) em quatro períodos (27-48, 48-90, 90-132 e 132-174 dias após a semeadura). Campina Grande - PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		TCA D27-48	TCA D48-90	TCA D90-132 <sup>1</sup>	TCA D132-174 <sup>1</sup>
Nível de reposição (Nr)	4	<b>0,041993**</b>	0,000743 <sup>NS</sup>	0,000196 <sup>NS</sup>	0,000083 <sup>NS</sup>
Regr. Linear	1	<b>0,167344**</b>	0,000749 <sup>NS</sup>	0,000751 <sup>NS</sup>	0,000176 <sup>NS</sup>
Regr. Quadrática	1	0,000485 <sup>NS</sup>	0,001814 <sup>NS</sup>	0,000010 <sup>NS</sup>	0,000115 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,000038 <sup>NS</sup>	0,000050 <sup>NS</sup>	0,000017 <sup>NS</sup>	0,000037 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,000006 <sup>NS</sup>	0,000360 <sup>NS</sup>	0,000004 <sup>NS</sup>	0,000004 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,001110 <sup>NS</sup>	0,001013 <sup>NS</sup>	0,000118 <sup>NS</sup>	0,000094 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	<b>0,002585*</b>	0,001621 <sup>NS</sup>	0,000124 <sup>NS</sup>	0,000069 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	0,000064 <sup>NS</sup>	0,000574 <sup>NS</sup>	0,000179 <sup>NS</sup>	0,0000134 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,000514	0,000465	0,000235	0,000094
CV(%)	-	7,70	6,40	1,50	0,96
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (mm dia<sup>-1</sup>)</b>			
BRS Paraguaçu		0,2854 <b>b</b>	0,3442	1,0218 <sup>1</sup>	1,0121 <sup>1</sup>
BRS Nordestina		0,3040 <b>a</b>	0,3295	1,0258 <sup>1</sup>	1,0091 <sup>1</sup>
DMS		0,0174	0,0165	0,0012	0,0075

<sup>(1)</sup> Dados transformados em  $(x+1)^{1/2}$

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F  
Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 12** – Taxa de crescimento absoluto do diâmetro caulinar da mamoneira (TCA D) em quatro períodos 27-48 (A), 48-90 (B), 90-132 (C) e 132-174 dias após a semeadura-DAS (D) e a evolução ao longo do tempo (E), em função do nível de reposição da evapotranspiração (Em C e D, dados transformados em  $[x+1]^{1/2}$ ). Campina Grande - PB, 2006

### Taxa de Crescimento Relativo em Diâmetro (TCR D)

Conforme Tabela 31, o efeito dos níveis de reposição da evapotranspiração sobre a TCR D foi significativo ao nível de 0,01 de probabilidade, pelo teste F, nos períodos 27-48 e 48-90 DAS. Na primeira avaliação, foram notados acréscimos na TCR enquanto na segunda ocorreram decréscimos com o incremento dos níveis de reposição da evapotranspiração (Figura 13A e 13B). Com base nos modelos matemáticos, entre  $Nr_1$  e  $Nr_5$ , na primeira avaliação, a taxa de crescimento teve incrementos de 77,09 %, enquanto na segunda avaliação, se verificaram decréscimos de 18,89 %; ainda se nota, na Figura 13A e 13B, estabilidade das taxas a partir do nível de reposição de 105% da ETc; já após os 90 DAS, a TCR praticamente se anula considerando-se que os dados plotados estão transformados em  $(x+1)^{1/2}$  (Figuras 13C e 13D). Pela Figura 13E fica caracterizada a queda na taxa de crescimento relativo com o tempo.

À semelhança da taxa de crescimento absoluto, também não se verificou efeito interativo para a taxa de crescimento relativo do diâmetro. Com relação ao fator 'cultivar', só se notou diferença significativa na primeira avaliação (27-48 DAS), com média da BRS Nordestina significativamente maior, sendo esta diferença diluída nos períodos seguintes (Tabela 31). A taxa de crescimento de 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 se desenvolvem (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

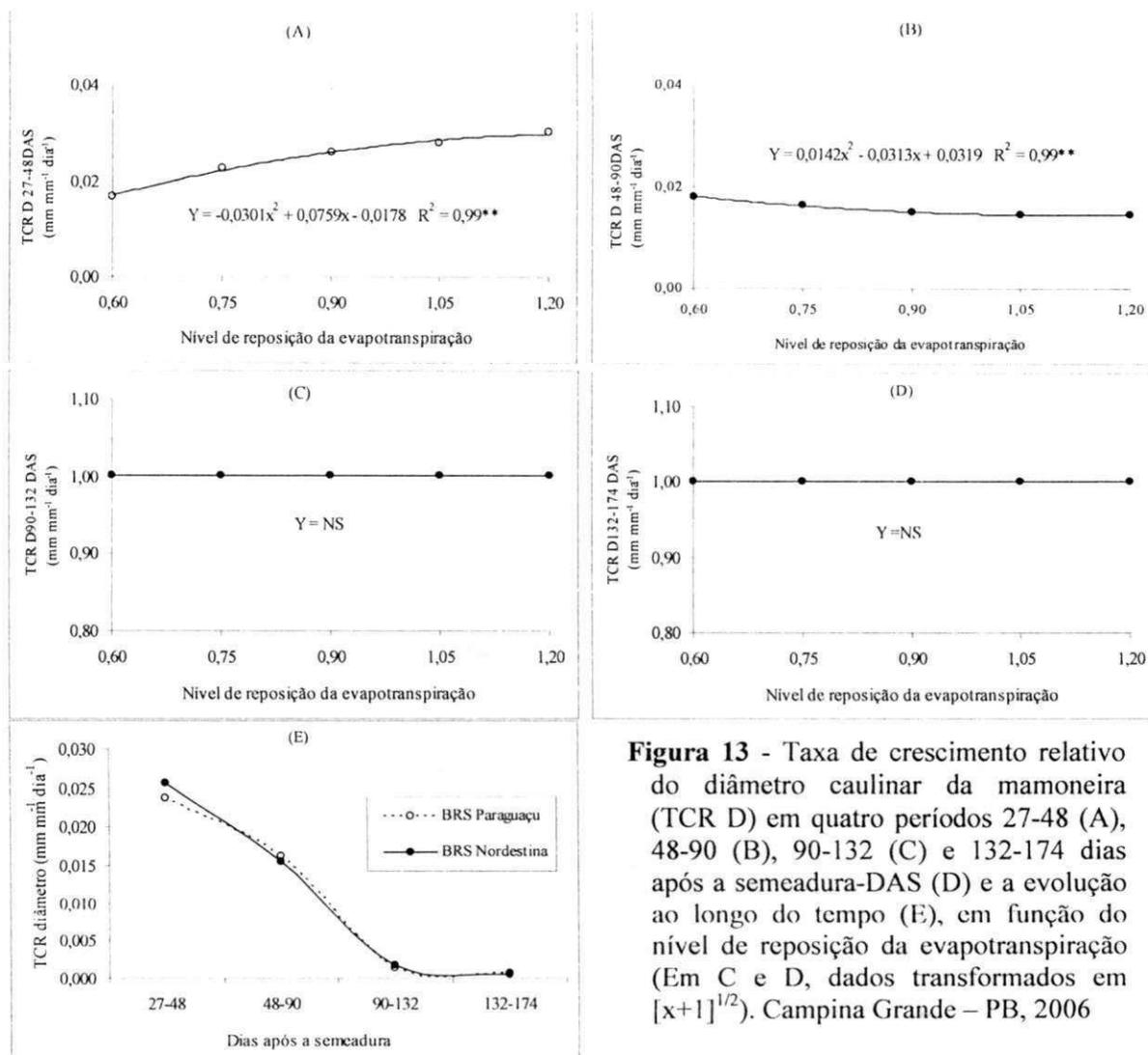
Lopes, Beltrão & Lopes Neto (2006) ao estudarem taxas de crescimento de quatro genótipos de mamoneira, dentre eles a BRS Nordestina, concluíram que o crescimento caulinar em espessura foi similar para todos os genótipos, semelhante aos resultados obtidos nesta pesquisa, com exceção do primeiro período.

**Tabela 31** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para taxa de crescimento relativo do diâmetro caulinar (TCR D) em quatro períodos (27-48, 48-90, 90-132 e 132-174 dias após a semeadura). Campina Grande - PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		TCR D27-48	TCR D48-90	TCR D90-132 <sup>1</sup>	TCR D132-174 <sup>1</sup>
Nível de reposição (Nr)	4	<b>0,000170**</b>	<b>0,000013**</b>	9,4178E-08 <sup>NS</sup>	6,6875E-08 <sup>NS</sup>
Regr. Linear	1	<b>0,000634**</b>	<b>0,000045**</b>	0,000000 <sup>NS</sup>	0,000000 <sup>NS</sup>
Regr. Quadrática	1	<b>0,000039**</b>	<b>0,000009**</b>	0,000000 <sup>NS</sup>	0,000000 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,000005 <sup>NS</sup>	0,000000 <sup>NS</sup>	0,000000 <sup>NS</sup>	0,000000 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,000000 <sup>NS</sup>	0,000000 <sup>NS</sup>	0,000000 <sup>NS</sup>	0,000000 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,000009 <sup>NS</sup>	0,000001 <sup>NS</sup>	1,4382E-07 <sup>NS</sup>	9,8447E-08 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	<b>0,000028*</b>	0,000003 <sup>NS</sup>	1,6106E-07 <sup>NS</sup>	6,0764E-08 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	0,000001 <sup>NS</sup>	0,000002 <sup>NS</sup>	1,6373E-07 <sup>NS</sup>	1,3578E-07 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,000004	0,000001	2,3698E-07	9,8649E-07
CV(%)	-	8,27	6,36	0,05	0,03
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (mm mm<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>			
BRS Paraguaçu		0,0238 <b>b</b>	0,0162	1,0007 <sup>1</sup>	1,0004 <sup>1</sup>
BRS Nordestina		0,0257 <b>a</b>	0,0155	1,0009 <sup>1</sup>	1,0003 <sup>1</sup>
DMS		0,0015	0,0008	0,0004	0,0002

<sup>(1)</sup> Dados transformados em  $(x+1)^{1/2}$

**(\*\*)** Efeito significativo a 1 % e **(\*)** a 5 % de probabilidade; <sup>(NS)</sup> não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F  
Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 13** - Taxa de crescimento relativo do diâmetro caulinar da mamoneira (TCR D) em quatro períodos 27-48 (A), 48-90 (B), 90-132 (C) e 132-174 dias após a semeadura-DAS (D) e a evolução ao longo do tempo (E), em função do nível de reposição da evapotranspiração (Em C e D, dados transformados em  $[x+1]^{1/2}$ ). Campina Grande – PB, 2006

#### 4.6 – Condutância Estomática (gs)

Houve efeitos significativos dos níveis de reposição sobre a condutância estomática avaliada aos 95 e 125 dias após a semeadura (Tabela 32). Mediante observação da Figura 14 e uso da equação cúbica, observa-se, aos 95 DAS, incremento na condutância estomática até o nível de 105 % da ETc ( $16,24 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), havendo diminuição a partir daí, de modo que, com 120 % da ETc, obteve-se 'gs' de  $14,81 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Na segunda avaliação, aos 125 DAS, e em função da equação matemática linear, observaram-se condutâncias variando entre  $16,90$  e  $32,60 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , o que representa uma variação de 92,90 % (Figura 14). Portanto, fica caracterizado que a condutância estomática aumenta na medida em que há maior disponibilidade hídrica no solo; entretanto, o excesso de água pode levar à redução da condutância, como foi observada aos 95 DAS. Este controle da condutância foliar é um importante meio através do qual o vegetal limita a perda de água.

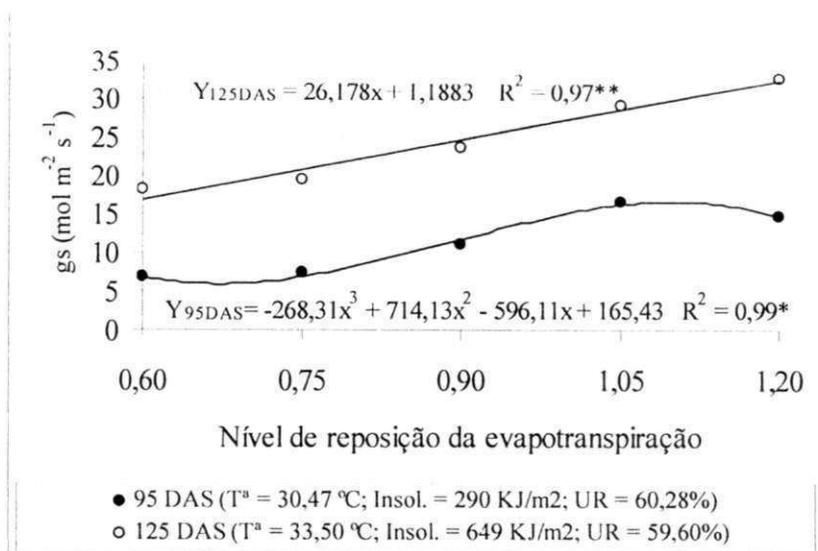
Também, pela Figura 14, independente dos tratamentos, observou-se que os valores da condutância estomática aos 125 DAS foram bem superiores aos registrados na avaliação feita aos 95 dias, evidenciando que a abertura estomática é afetada não só pelo estresse hídrico, mas também pode variar dependendo da demanda atmosférica em que a planta está exposta. Aos 125 DAS a temperatura foliar média e a radiação solar incidente registradas foram bem superiores, enquanto a umidade relativa praticamente não variou (Figura 14), informações que explicam a maior condutância estomática na primeira avaliação em relação à primeira. Para Larcher (2000), em determinado ambiente, a condutância estomática (gs) é influenciada pelo grau de abertura, tamanho, arranjo e densidade dos estômatos. Na maioria das plantas herbáceas, gs oscila entre 30 e 50 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, enquanto as plantas lenhosas de folhas largas, varia entre 16 a 25 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Os estômatos são sensíveis ao estado hídrico da folha, tendendo a se fecharem com o decréscimo do potencial da água na folha; da mesma forma, o aumento do potencial da água foliar desencadeia o processo de sua abertura; foram verificados valores de condutância estomática muito próximos entre as cultivares estudadas, não diferindo estatisticamente entre si; não houve interação significativa entre os fatores 'Nr' e 'Cv' (Tabela 32).

**Tabela 32** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para condutância estomática (gs) aos 95 e 125 dias após a semeadura-DAS. Campina Grande - PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	
		gs 95 DAS	gs 125 DAS
Nível repos. (Nr)	4	115,3005**	238,8934*
Regr. Linear	1	380,52017**	925,1227**
Regr. Quadr.	1	4,52678 <sup>NS</sup>	17,190476 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	70,8507**	13,020042 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	5,3043 <sup>NS</sup>	0,240482 <sup>NS</sup>
Blocos	2	67,9630**	1,0961 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	8,3213 <sup>NS</sup>	15,7687 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	9,1605 <sup>NS</sup>	125,1771 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	7,98337	88,457750
CV(%)	-	24,98	38,00
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)</b>	
BRS Paraguaçu		10,7833	24,0233
BRS Nordestina		11,8367	25,4733
DMS		2,1676	7,2152

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F



**Figura 14** – Condutância estomática (gs) aos 95 e 125 dias após a semeadura-DAS, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.7 - Fluorescência da Clorofila 'a'

As variáveis da fluorescência da clorofila foram avaliadas aos 85 DAS, quando as plantas se encontravam em plena floração e frutificação. De acordo com a Tabela 33, a fluorescência basal ou inicial 'Fo', não foi afetada pelos níveis de reposição da evapotranspiração com água residuária. Nota-se, na Figura 15A, que os valores pouco variaram entre os diferentes índices de reposição. Para Baker & Rosenqvst (2004) o aumento de Fo, fato aqui não observado, independe dos eventos fotoquímicos e reflete destruição do centro de reação do PSII (fotossistema II) ou diminuição na capacidade de transferência da energia de excitação da antena para o centro de reação; entretanto, houve diferença significativa na 'Fo' entre as cultivares com maior média para a BRS Paraguaçu.

Pelos resumos das análises de variância das demais variáveis (fluorescência máxima 'Fm' e variável 'Fv', a eficiência quântica máxima do fotossistema II 'Fv/Fm' e a relação 'Fo/Fv'), apresentados na Tabela 33, foram notórios os efeitos significativos lineares dos níveis de reposição da evapotranspiração ( $P < 0,01$ ), enquanto para o fator 'cultivar' não se verificou diferença significativa, nem interação significativa.

As médias obtidas em função dos níveis de reposição da água evapotranspirada estão plotadas na Figura 15, na qual se observa que as variáveis fluorescência máxima (Fm) e variável (Fv), a eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) e a relação Fo/Fv decresceram linearmente com o incremento da reposição de água no solo. Os respectivos decréscimos para 'Fm', 'Fv', 'Fv/Fm' e 'Fv/Fo' foram 6,09, 8,97, 2,97 e 15,25 % entre Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub>. Silva et al. (2006) observaram, ao estudarem a eficiência fotoquímica de gramíneas

forrageiras (Plantas C4) comportamento contrário, à medida que o déficit hídrico se acentuava com o decorrer dos dias, foi evidente a redução nos valores de 'Fo', 'Fm' e 'Fv/Fm' nas quatro espécies pesquisadas.

A queda na eficiência quântica máxima do fotossistema II 'Fv/Fm' (Figura 15D), é indício de injúrias na estrutura dos tilacóides; entretanto, tendo em vista a relação Fv/Fm (rendimento máximo do PSII), contida no intervalo 0,75 a 0,85, deduz-se que o aparelho fotossintético se manteve intacto, sem qualquer dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989). A manutenção da relação Fv/Fm em torno de 0,80, como se verificou nesta pesquisa com a mamoneira (planta C3), é uma resposta positiva. Silva et al. (2006) observaram, em gramíneas forrageiras (plantas C4) submetidas a estresse hídrico, relação Fv/Fm abaixo de 0,75, indicando dano ao PSII.

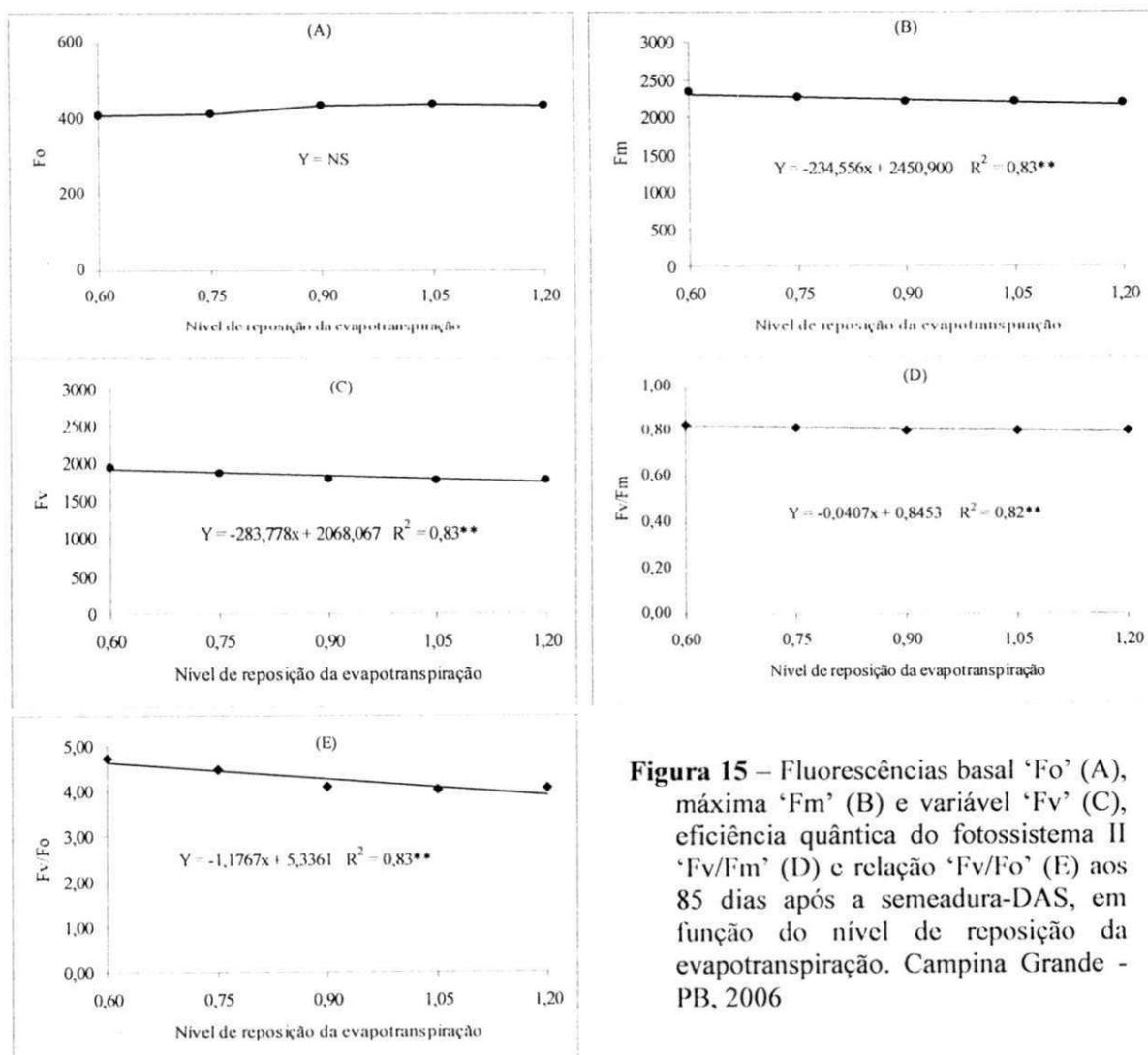
O elevado potencial de produção primária das espécies via fotossintética C4, em comparação com as C3, como a mamoneira, segundo Rodrigues & Rodrigues (1994), tem sido atribuído às condições de regiões tropicais, em baixas latitudes, maior insolação e elevada temperatura bem como a melhor eficiência no uso da água.

Konrad et al. (2005) avaliaram o efeito do alumínio (Al) na fotossíntese de seis cultivares de cafeeiro e concluíram que este elemento causou queda em 'Fv/Fm' e aumento em 'Fo', indicando destruição da estrutura das membranas dos tilacóides. Segundo Krause & Weiss (1991), condições extremas de estresse ambiental podem afetar os eventos nos tilacóides, interferindo na eficiência da fotossíntese e inativando o fotossistema II (P680) e a cadeia de transporte de elétrons que daria origem a ATP e NADPH<sub>2</sub>.

**Tabela 33** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para fluorescência Fo, Fm, Fv, Fv/Fm e Fv/Fo aos 85 dias após a semeadura-DAS. Campina Grande -PB, 2006

F. de Variação	GL	Quadrados Médios				
		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Fv/Fo
Nível repos. (Nr)	4	1047,867 <sup>NS</sup>	22357,283*	32718,667*	0,000682 <sup>NS</sup>	0,563448*
Regr. Linear	1	3270,817 <sup>NS</sup>	74272,016**	108715,27**	0,002233**	1,869312**
Regr. Quadr.	1	490,583 <sup>NS</sup>	14170,012 <sup>NS</sup>	19933,762 <sup>NS</sup>	0,000383 <sup>NS</sup>	0,310968 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	224,267 <sup>NS</sup>	8,817 <sup>NS</sup>	144,150 <sup>NS</sup>	0,000029 <sup>NS</sup>	0,02483 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	205,800 <sup>NS</sup>	978,288 <sup>NS</sup>	2081,488 <sup>NS</sup>	0,000084 <sup>NS</sup>	0,04868 <sup>NS</sup>
Blocos	2	1704,933 <sup>NS</sup>	10962,100 <sup>NS</sup>	21294,433 <sup>NS</sup>	0,000731 <sup>NS</sup>	0,590753 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	4915,200*	6453,333 <sup>NS</sup>	104,5333 <sup>NS</sup>	0,000652 <sup>NS</sup>	0,398108 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	470,700 <sup>NS</sup>	4068,250 <sup>NS</sup>	3699,2000 <sup>NS</sup>	0,000097 <sup>NS</sup>	0,062606 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	766,230	5904,9518	8584,6555	0,000279	0,192757
CV(%)	-	6,48	3,43	5,11	2,06	10,27
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Média</b>				
BRS Paraguaçu		439,9333 a	2254,4667	1814,5333	0,8041	4,1618
BRS Nordestina		414,3333 b	2225,1333	1810,8000	0,8134	4,3922
DMS		21,235319	58,95050	71,078908	0,0128	0,3368

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 15** – Fluorescências basal ‘Fo’ (A), máxima ‘Fm’ (B) e variável ‘Fv’ (C), eficiência quântica do fotossistema II ‘Fv/Fm’ (D) e relação ‘Fv/Fo’ (E) aos 85 dias após a semeadura-DAS, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.8 – Análise Destrutiva aos 90 DAS

Apresentam-se, na Tabela 34, os resumos das análises estatísticas das variáveis fitomassa de raízes (FR), fitomassa da parte aérea (FPA) e a relação R/PA. Observa-se que as lâminas de irrigação impostas às cultivares afetaram significativamente, ao nível de 0,01 de probabilidade, pelo teste F, a fitomassa de raízes (FR) e da parte aérea (FPA) e a relação R/PA, aos 90 dias após a semeadura. Entre as duas cultivares só foi verificada diferença significativa no tocante à fitomassa da parte aérea, sendo a BRS Paraguaçu mais produtiva. Não se notou interação significativa dos fatores 'Nr' e 'Cv' para as três variáveis, denotando que os efeitos dos níveis de reposição independem das cultivares.

Segundo Taiz & Zeiger (2004), 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 declarado pelos autores de forma resumida: *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 se iguale a quantidade que é produzida na parte aérea.* Este equilíbrio funcional será alterado se houver decréscimo no suprimento de água.

#### Fitomassa de Raízes (FR) aos 90 DAS

A fitomassa radicular foi influenciada significativamente pelos tratamentos (Tabela 34). A baixa disponibilidade de água no solo afetou severamente o sistema radicular da mamoneira; em função da equação cúbica contida na Figura 16A, deduz-se um acréscimo estimado em 117,74 % nas plantas irrigadas com 1,05 ETc em relação a 0,60 ETc. Verifica-se, a partir do nível de reposição de 105 % da ETc, tendência de redução na fitomassa radicular, devido, provavelmente ao efeito de hipoxia temporária. Segundo Nogueira, Albuquerque & Silva (2005), como consequência da deficiência hídrica, se verifica diminuição do volume celular, aumento na concentração de solutos e paulatina desidratação do protoplasto; aliada a este fato, a diminuição da turgescência pode ser admitida como indutora de resposta ao estresse hídrico sendo o processo de crescimento (principalmente em extensão) o primeiro afetado

As cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu não diferiram no que diz respeito à fitomassa radicular; cada planta produziu, em média, 90,46 g de raízes, com a BRS

Paraguaçu produzindo um pouco mais (Tabela 34); não houve efeito interativo dos fatores (Nr x Cv).

Como se observou ao longo da discussão, todos os aspectos do crescimento e desenvolvimento das plantas foram afetados pelo déficit hídrico causado pela excessiva demanda evaporativa ou limitado suprimento de água.

### **Fitomassa da Parte Aérea (FPA) aos 90 DAS**

Observa-se que as lâminas de irrigação impostas às cultivares afetaram significativamente ( $P < 1\%$ ) a fitomassa da parte aérea (FPA) aos 90 dias após a semeadura (Tabela 34). Utilizando-se da equação de ajuste apresentada na Figura 16A, verificou-se acréscimo de 75,93 % entre os tratamentos 'Nr<sub>1</sub>' e 'Nr<sub>5</sub>'. A cultivar BRS Paraguaçu produziu fitomassa significativamente maior que a BRS Nordestina; não houve efeito significativo para a interação dos fatores (Nr x Cv). Barros Júnior (2007) notou, nas mesmas cultivares, que a fitomassa total (raízes, parte aérea, inclusive frutos) aumentou de forma exponencial como resposta aos diferentes conteúdos de água no solo; vê-se, na Figura 16A, a ocorrência de certo equilíbrio funcional entre a raiz e a parte aérea, embora com efeitos cúbico e linear, respectivamente.

Para Larcher (2000), a frequência 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. Segundo Hsiao (1973) citado por Taiz & 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, o que se reflete em queda de produção de biomassa como foi verificada nesta pesquisa.

### **Relação Raiz Parte Aérea (R/PA) aos 90 DAS**

A relação raiz parte aérea é um indicativo do nível de contribuição das reservas armazenadas no sistema radicular no favorecimento do crescimento da parte aérea, tornando-se uma variável de grande relevância em estudos que envolvem análise de plantas quando submetidas a estresse hídrico (MAGALHÃES, 1979).

Os níveis de reposição tiveram influência sobre os resultados da relação R/PA, coerentemente com os dados que lhe deram origem. Nota-se que à medida em que se elevaram os volumes de água aplicados, aumentaram também os valores da R/PA até 105 % da ETc, havendo redução a partir desse nível. Salienta-se que, em termos relativos, entre 'Nr<sub>1</sub>' e 'Nr<sub>4</sub>' as raízes foram mais afetadas que a parte aérea (cerca de 118 e 57 %, respectivamente).

respectivamente), ou seja, houve maior incremento na fitomassa radicular, razão pela qual a relação foi crescente até o nível de 105 % da ETe (Figura 16B). Nogueira, Albuquerque & Silva (2005) afirmam, com base em dados experimentais, haver tendência de algumas espécies investirem mais no crescimento radicular em detrimento da parte aérea, quando em situação de déficit hídrico no solo, caso em que o rápido crescimento da raiz oferece vantagem ao vegetal para sua sobrevivência no período de escassez hídrica.

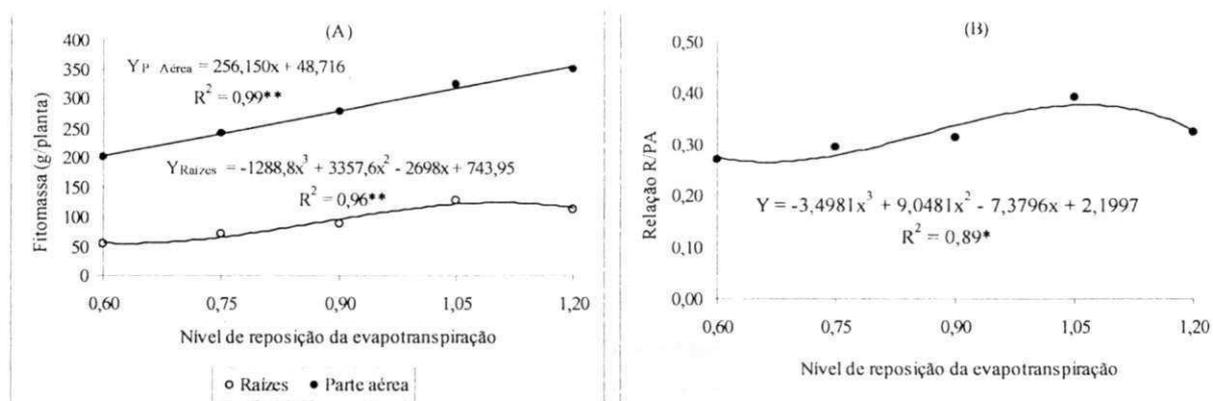
Observa-se na Tabela 34, que as relações R/PA das cultivares são praticamente iguais, não diferindo estatisticamente entre si; Barros Junior (2007) pesquisando a mamoneira sob diferentes regimes hídricos (40 a 100 % de água disponível) observou relações médias de 0,15 e 0,18, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Nordestina, respectivamente. No presente estudo foram observadas relações bem superiores, 0,30 e 0,31, podendo a diferença pode ser atribuída ao aporte de nutrientes contidos na água residuária utilizada nesta pesquisa, o que proporcionou maior crescimento radicular em relação à parte aérea. Beltrão, Souza & Santos (2003) verificaram que a mamoneira foi muito mais sensível ao estresse por hipoxia que pela deficiência, independente do período do estresse. A relação fitomassa epígea/fitomassa hipógea foi bastante alterada pelo estresse hídrico, em especial com duração de seis dias e também devido ao excesso de água.

Não ocorreu efeito interativo entre os fatores 'Nr' e 'Cv', isto é, o efeito dos níveis de reposição da evapotranspiração foi isolado e independente da cultivar.

**Tabela 34** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para fitomassa de raízes (FR), fitomassa da parte aérea (FPA) e relação raiz parte aérea (R/PA) aos 90 dias após a semeadura-DAS. Campina Grande - PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		FR 90 DAS	FPA 90 DAS	R/PA 90 DAS
Nível de reposição (Nr)	4	<b>5271,2666**</b>	<b>22263,8719**</b>	<b>0,01259**</b>
Regr. Linear	1	<b>18699,2904**</b>	<b>88576,5419**</b>	<b>0,02604**</b>
Regr. Quadrática	1	<b>633,43629*</b>	237,2161 <sup>NS</sup>	0,00670 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	<b>1634,5908**</b>	99,2792 <sup>NS</sup>	<b>0,01204*</b>
Regr. 4º Grau	1	117,7491 <sup>NS</sup>	142,4504 <sup>NS</sup>	0,00557 <sup>NS</sup>
Blocos	2	84,98749 <sup>NS</sup>	103,0644 <sup>NS</sup>	0,00228 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	32,2611 <sup>NS</sup>	<b>860,17365*</b>	0,00008 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	17,5075 <sup>NS</sup>	467,7811 <sup>NS</sup>	0,00068 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	114,4817	172,6070	0,00181
CV(%)	-	11,83	4,70	13,340
		<b>Médias</b>		
<b>Cultivar (Cv)</b>		(g/planta)	(g/planta)	--
BRS Paraguaçu		91,4920	284,6047 <b>a</b>	0,3024
BRS Nordestina		89,4180	273,8953 <b>b</b>	0,3104
DMS		8,2082	10,0788	0,0326

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 16** – Fitomassa de raízes e da parte aérea (A) e relação raiz parte aérea (B) aos 90 dias após a semeadura-DAS, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.9 – Emissão da Inflorescência (Início da Floração)

Ao se observar os resultados apresentados na Tabela 35, nota-se efeito linear significativo dos níveis de reposição de água sobre a emissão da primeira inflorescência.

A data de emissão da inflorescência foi mais precoce nas plantas irrigadas com maiores lâminas; mediante equação de regressão apresentada na Figura 17A, verificou-se uma antecipação de 10 dias no florescimento (data média da emissão) do primeiro racemo; com 'Nr<sub>5</sub>' (1,20 Etc) o florescimento ocorreu aos 72 DAS enquanto com 'Nr<sub>1</sub>' (0,60 Etc) ocorreu aos 82 DAS. Segundo a Embrapa (1997b) e Carvalho (2005), a floração da cultivar BRS Nordestina é mais precoce, 50 dias após a emergência, enquanto que a da BRS Paraguaçu ocorre por volta dos 54 dias após a emergência; entretanto, em ambiente protegido a cultivar BRS Nordestina parece ser mais tardia (Tabela 35). Barros Júnior (2007), trabalhando com água disponível (60 a 100 %) e as mesmas cultivares em ambiente protegido, porém com água de abastecimento, também verificou que o início da floração da cultivar BRS Nordestina foi mais tardio.

Lacerda (2006), observou que o início da floração é antecipado sob condições de maior disponibilidade hídrica no solo. Com 70, 90 e 100 % de água disponível (AD), o autor registrou que a primeira inflorescência surgiu aos 101, 73 e 69 DAS, respectivamente. 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. Ao se considerar os dias para emergência deduz-se que os últimos autores encontraram resultados mais coerentes com os reportados na literatura.

O início da floração da cultivar BRS Paraguaçu foi significativamente mais precoce que a cultivar BRS Nordestina e não se verificou interação significativa entre essas cultivares e os níveis de reposição da evapotranspiração.

#### **4.10 - Comprimento e Densidade de Frutos do Primeiro Racemo**

##### **Comprimento do Primeiro Racemo**

Este componente foi influenciado significativamente pelos níveis de reposição da evapotranspiração (Tabela 35). Com base na função de resposta, equação quadrática contida na Figura 17B, o comprimento do primeiro racemo das plantas irrigadas com 1,20 ETc foi 54,78 % maior que o daquelas irrigadas com 0,60 ETc. Observa-se ainda, que o comprimento do cacho foi crescente até o nível de 1,05 ETc, havendo estabilização a partir desse nível.

Ainda pela Tabela 35, o comprimento do cacho da cultivar BRS Nordestina (30,40 cm) foi significativamente maior em relação ao da cultivar BRS Paraguaçu (23,07 cm). Na Tabela 19, em que constam as características das duas cultivares testadas, tem-se que a cultivar BRS Nordestina realmente possui maior tamanho de racemo (33 cm) em relação à cultivar BRS Paraguaçu (25 cm). O comprimento do racemo aqui reportado é aquele efetivo, medido não a partir da base do cacho mas a partir dos frutos basais, razão pela qual os valores médios observados nesta pesquisa são inferiores; entretanto, outros autores verificaram maiores racemos na mamoneira irrigada com água residuária em relação à testemunha absoluta, diferença atribuída ao aporte de nutrientes da água (NASCIMENTO et al., 2004b; SOUZA, 2006).

Nascimento et al. (2004b) verificaram que as plantas de mamoneira irrigadas com água residuária produziram racemo com 40,11 cm em média, enquanto as plantas irrigadas com água de abastecimento produziram cacho com comprimento médio bem inferior, 14,28 cm. Por outro lado Souza (2006) notou comprimento médio de 42,20 cm nas plantas irrigadas com 'Esgoto', o qual não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (água + adubação; esgoto + adubação; esgoto + ½ adubação); ainda pela Tabela 35, não se verificou interação (Nr x Cv) significativa.

### Densidade de Frutos do Primeiro Racemo

Mediante observação da Tabela 35 verifica-se que a densidade de frutos (relação entre número de frutos e comprimento do racemo) não foi afetada pelos níveis de reposição. No tocante ao fator cultivar a BRS Paraguaçu produziu o racemo mais adensado (2,53 frutos  $\text{cm}^{-1}$ ), ou seja, com maior número de frutos por unidade de comprimento que a cultivar BRS Nordestina (2,04 frutos  $\text{cm}^{-1}$ ). Segundo Carvalho (2005), a cultivar BRS Nordestina produz cacho com 33 cm contendo 37 frutos (resultando em uma densidade de 1,12 frutos  $\text{cm}^{-1}$ ) enquanto a BRS Paraguaçu produz 30 frutos em um cacho de 25 cm (densidade de 1,20 frutos  $\text{cm}^{-1}$ ). Os elevados valores registrados na presente pesquisa se devem à metodologia adotada para a medida do comprimento do racemo, ou seja, mediu-se o comprimento que, efetivamente, continha frutos, o que é bem inferior ao comprimento total.

Não se verificou interação significativa. Na Figura 17C, se observa não haver influência dos tratamentos sobre a distribuição dos frutos ao longo do cacho da mamoneira, provavelmente por se tratar de uma característica genética da planta.

#### 4.11 - Peso de 100 Sementes ( $P_{100}$ )

O peso de 100 bagas também foi influenciado significativamente pelos níveis de reposição da evapotranspiração (Tabela 35). Com base na curva de ajuste contida na Figura 17D, observou-se incremento de 8,62 % no  $P_{100}$  das plantas irrigadas com 120 % da evapotranspiração, em relação àquelas irrigadas com 60 % da evapotranspiração.

As cultivares produziram sementes com  $P_{100}$  abaixo de seus pesos característicos; segundo Carvalho (2005) os  $P_{100}$  das cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu são 68,00 g e 71,00 g, respectivamente. Para a cultivar BRS Nordestina observou-se média de 64,23 g, significativamente superior à BRS Paraguaçu, com média de 60,97 g. Nascimento (2003) verificou que o  $P_{100}$  das plantas de mamoneira irrigadas com água residuária (73,20 g) foi estatisticamente maior em relação àquelas plantas irrigadas com água de abastecimento (52,13 g). Souza (2006) observou que o  $P_{100}$  da cultivar BRS Nordestina no tratamento com esgoto (64,62 g) não diferiu significativamente dos demais tratamentos (água + adubação; esgoto; esgoto +  $\frac{1}{2}$  adubação). Neste trabalho se verificou que o peso de 100 sementes da cultivar BRS Nordestina (64,23 g) foi muito parecido com o registrado pelo mencionado autor.

Como nos componentes anteriormente discutidos, também não se verificou interação significativa para o peso de 100 sementes.

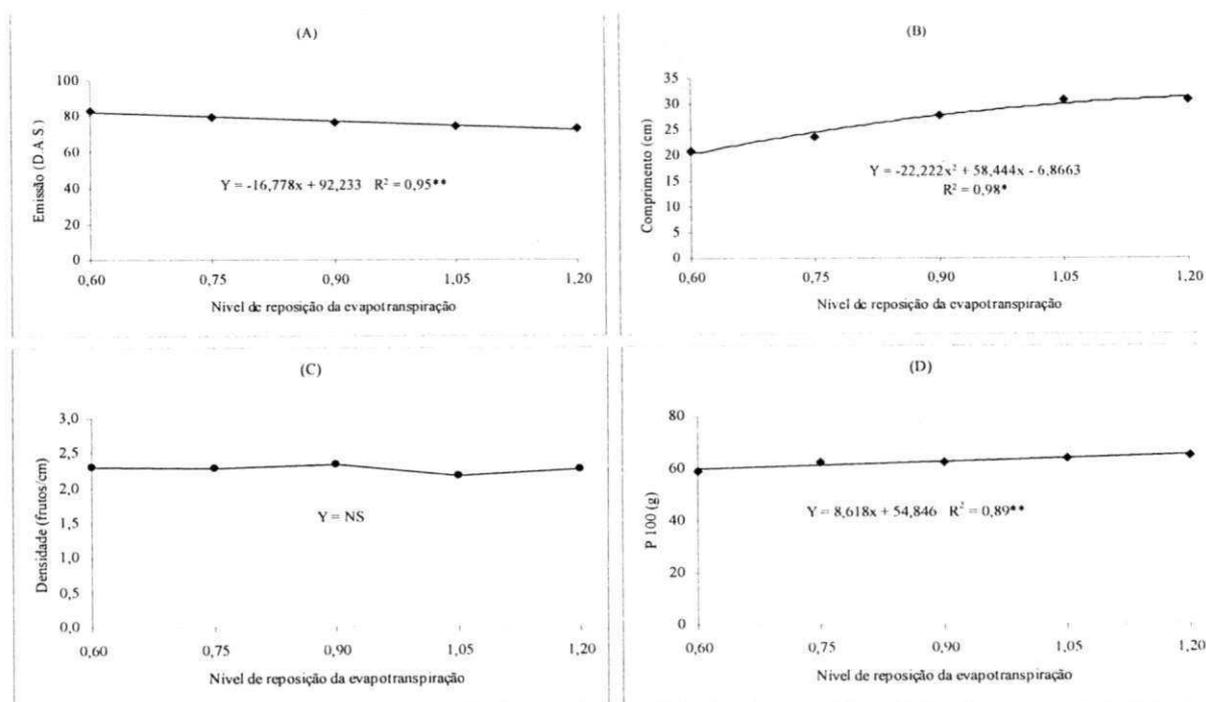
**Tabela 35** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para os componentes do primeiro racemo, emissão da inflorescência, comprimento, densidade e peso de 100 sementes. Campina Grande – PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		Emissão	Comprimento	Densidade	P <sub>100</sub>
Nível de reposição (Nr)	4	<b>100,5333**</b>	<b>123,1333**</b>	0,0249 <sup>NS</sup>	<b>28,2363*</b>
Regr. Linear	1	<b>380,0167**</b>	<b>459,2667**</b>	0,0232 <sup>NS</sup>	<b>100,2592**</b>
Regr. Quadrática	1	22,0119 <sup>NS</sup>	<b>21,0000*</b>	0,0000 <sup>NS</sup>	2,5655 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,0667 <sup>NS</sup>	12,1500 <sup>NS</sup>	0,0224 <sup>NS</sup>	5,2688 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,0381 <sup>NS</sup>	0,1167 <sup>NS</sup>	0,0539 <sup>NS</sup>	4,8515 <sup>NS</sup>
Blocos	2	6,6363 <sup>NS</sup>	5,6333 <sup>NS</sup>	0,0164 <sup>NS</sup>	12,6411 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	<b>224,1333**</b>	<b>403,3333**</b>	<b>1,7959**</b>	<b>79,8375**</b>
Interação (Nr x Cv)	4	10,4667 <sup>NS</sup>	7,3333 <sup>NS</sup>	0,0515 <sup>NS</sup>	7,4629 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	7,6704	3,0778	0,1242	9,5331
CV(%)	-	3,59	6,56	15,44	4,93

Cultivar (Cv)	Médias			
	(D.A.S.)	(cm)	(frutos/cm)	(g)
BRS Paraguaçu	74,4000 <b>b</b>	23,0667 <b>b</b>	2,5267 <b>a</b>	60,9707 <b>b</b>
BRS Nordestina	79,8667 <b>a</b>	30,4000 <b>a</b>	2,0373 <b>b</b>	64,2333 <b>a</b>
DMS	2,1246	1,3458	0,2703	2,3686

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 17** - Componentes do primeiro racemo, emissão da inflorescência (A), comprimento (B), densidade de frutos (C) e peso de 100 sementes – P100 (D), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.12 – Análise Destrutiva Final

Apresentam-se, na Tabela 36, os resumos das análises estatísticas dos componentes de produção, obtidos no final do Experimento I. Com exceção da relação raiz parte aérea, todas as variáveis foram afetadas pelos níveis de reposição da evapotranspiração (Nr), ao nível de 0,01 de probabilidade. As duas cultivares (Cv) não diferiram significativamente entre si, bem como a interação 'Nr x Cv' não foi significativa, tendo em vista que os efeitos dos índices de reposição de água foram independentes das cultivares.

#### Número de Racemos por Planta (Nº Rac.)

O número de racemos aumentou com o incremento dos níveis de reposição da ETc; as plantas irrigadas sob o mais baixo índice de reposição produziram tão somente 1 cacho, enquanto aquelas irrigadas com 120 % da ETc produziram em média 3,7 cachos (Figura 18A). O número médio de racemos colhidos por planta foi 2,3. A média da cultivar BRS Paraguaçu foi levemente superior a média da BRS Nordestina, entretanto sem diferença significativa entre as duas, nem interação com os níveis de reposição da evapotranspiração (Tabela 36). Barros Junior et al. (2004b) verificaram que plantas conduzidas sob o regime de 40 % de água disponível não chegaram a emitir inflorescências e, conseqüentemente, não produziram cachos. Segundo Carvalho (2005), a cultivar BRS Nordestina produz 5 a 7 cachos, enquanto a BRS Paraguaçu, produz 7 a 9 cachos por planta.

Nóbrega et al. (2001) classificam o número de racemo como baixo (< 3 racemos), médio (3 a 7 racemos) e alto (>7 racemos). Nascimento (2003) observou nível elevado na produção de cachos por planta quando a mamoneira foi irrigada com água residuária (11 cachos); quando a planta foi irrigada com água de abastecimento produziu menos de 2 cachos/planta. Souza (2006), ao pesquisar a cultivar BRS Nordestina em condições de campo, constatou número de racemos alto nas plantas do tratamento esgoto doméstico + adubação recomendada (doze racemos/planta), significativamente superior aos demais tratamentos (água + adubação; esgoto; esgoto + ½ adubação), com média abaixo de sete racemos/planta (número médio). Nesta pesquisa, mesmo as plantas conduzidas sem restrição hídrica não produziram, sequer, quatro racemos/planta, o que reforça a necessidade de adubação suplementar. É incontestável que o aporte de nutrientes contido nas águas de esgoto doméstico contribui para o aumento da produção, mas é evidente que a combinação de esgoto com adubação é determinante para o aumento da produção, em nível econômico.

### **Número de Frutos por Planta**

Pelo reduzido número de racemos, as plantas produziram, em geral, poucos frutos, até mesmo aquelas que receberam maiores volumes de água (120 % ETc), com cerca de 105 frutos em média (Figura 18B). Verificou-se aumento linear no número de frutos por planta com o incremento dos níveis de reposição da evapotranspiração. Com base na função de resposta contida na Figura 18B, observou-se incremento de 121,60 % entre 'Nr<sub>1</sub>' e 'Nr<sub>5</sub>'. Igualmente ao número de racemos por planta, também não se observou diferença significativa entre as cultivares nem interação. As cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu produziram, em média, 78 e 75 frutos, respectivamente. Barros Júnior (2007) verificou pouco mais de 61 e 67 frutos/planta para as respectivas cultivares e destacou que a mamoneira não produz quando a disponibilidade hídrica no solo atinge valores baixos, como 40 % AD; entretanto, quando irrigada com 100 % AD, a mamoneira produziu, em média 214,50 frutos/planta, produção superior à observada nesta pesquisa.

Torna-se evidente que a mamoneira teve crescimento beneficiado pelos nutrientes aportados na água de irrigação (Tabela 18), como já discutido; entretanto, a planta não se desenvolveu suficientemente para obtenção de produção considerável, devido, talvez, a um provável desbalanceamento nutricional da água residuária, caso em que há a necessidade de se fazer adubações de cobertura.

Xavier (2007), em pesquisa com a cultivar BRS Nordestina com águas residuárias tratadas de três indústrias de Campina Grande, PB, concluiu que a água mais rica e equilibrada em nutrientes, promoveu maior crescimento das plantas além de maior produção de frutos.

### **Fitomassa de Raízes (FR)**

Os níveis de reposição da água evapotranspirada interferiram significativamente a fitomassa radicular (Tabela 36). Na medida em que se aumentavam as lâminas de irrigação, maior foi a biomassa de raízes; utilizando-se da equação apresentada na Figura 18C, notou-se acréscimo de 106,91 % entre 0,60 ETc e 1,20 ETc. Ao se comparar mais detalhadamente as Tabelas 34 e 36, verifica-se que o sistema radicular da mamoneira pouco cresce entre 90 e 174 dias após o plantio, chegando a aumentar em média pouco mais de 1,18 g/planta (de 90,46 para 91,64 g/planta). Segundo Nóbrega et al. (2001) a fitomassa do sistema radicular de uma mamoneira com bom crescimento, em condições de campo, pode alcançar 450 g, em média.

Beltrão, Souza & Santos (2003) concluíram que a fitomassa total hipógea da planta da mamona na sua fase juvenil foi bastante reduzida pelo estresse hídrico, em especial por excesso de água e também com o incremento da duração do estresse. Albuquerque, Sampaio & Severino (2006) afirmaram que a fitomassa radicular da cultivar BRS Paraguaçu aumenta sob alta temperatura noturna.

### **Fitomassa da Parte Aérea (FPA)**

A fitomassa da parte aérea (FPA) aos 174 dias após a semeadura-DAS, à semelhança dos 90 DAS (sub-item 4.8), também foi severamente afetada pelos níveis de reposição (Figura 18D). Um acréscimo de 128,20 % na fitomassa da parte aérea foi observado entre 0,60 ETc e 1,20 ETc.

A cultivar BRS Paraguaçu produziu fitomassa ligeiramente superior à BRS Nordestina, mas as duas cultivares não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 36); com base nos dados apresentados na Tabela 36, deduz-se que a fitomassa total média produzida foi cerca de 408 g/planta, cerca 46,24 % superior à registrada aos 90 DAS (279 g/planta). Barros Júnior (2007) verificou, nas mesmas cultivares, fitomassa total média de 1393,45 g/planta, na condição de 100 % de água disponível e em plantas adequadamente adubadas. Ressalta-se que nesta pesquisa em discussão, não foram realizadas adubações de cobertura, denotando que se faz necessária a adubação complementar. Xavier (2007) observou que plantas da cultivar BRS Nordestina, irrigadas com o nível de 70 % AD, comparadas àquelas com o nível de 100 % AD, tiveram as fitomassas foliar e caulinar reduzidas em 61,80 % e 51,00 %, respectivamente. Pinto (2006) verificou, em estudos com oleaginosas, que a deficiência hídrica reduziu o acúmulo de matéria seca total, de forma mais intensa na mamona (75 %) do que no amendoim e gergelim (50 %).

### **Relação Raiz Parte Aérea (R/PA)**

Pelo resumo dos dados dessa variável aos 174 DAS, contido na Tabela 36, verificou-se que a relação raiz parte aérea não foi afetada significativamente pelos tratamentos, ao contrário do que foi verificado aos 90 dias. Ressalta-se que a relação média, foi, aos 90 DAS, 0,31, enquanto aos 174 dias foi de apenas 0,22, devido ao crescimento reduzido das raízes após os três meses e pelo fato da parte aérea continuar em crescimento e desenvolvimento, sobretudo com a emissão de estruturas reprodutivas. A relação R/PA praticamente se manteve inalterada entre os tratamentos estudados, ou seja, a parte radicular e a parte aérea foram afetadas igualmente. Na Figura 18E está ilustrada a ausência de efeito

significativo dos níveis de reposição; pela Tabela 36, houve ausência de interação e de diferença significativa entre as cultivares. Barros Junior (2007) notou, no final de sua pesquisa, comportamento semelhante porém com baixas relações ( $< 0,20$ ) entre os níveis de água disponível.

Pinto (2006) também não verificou efeito diferenciado na relação de biomassa radicular/biomassa da parte aérea da mamoneira; independente do regime hídrico a mamona apresentou maior relação quando comparada ao gergelim e amendoim, que tiveram a relação R/PA aumentada na condição de estresse.

Em condições de estresse hídrico, geralmente aumenta a relação entre matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea. Este aumento pode ser explicado pela afirmativa de Boyer (1970), ao relatar que as reduções do crescimento foliar ocorrem antes de reduzir a taxa fotossintética, resultando em excesso de carboidratos para as raízes; contudo, há relatos contraditórios nesta relação sob condições de deficiência hídrica.

A relação entre matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea, expressa um balanço funcional entre a taxa fotossintética e a absorção de água pelas raízes que, em condições normais, ocorre certo equilíbrio (TAIZ & ZEIGER, 2004). Segundo Goss (1973), a relação R/PA é uma correlação de desenvolvimento expressando o fato de que o crescimento radicular pode afetar o da parte aérea e vice-versa.

### **Produção de Bagas**

A produção de sementes ou bagas, variável mais importante do ponto de vista econômico, também foi influenciada significativamente pelos níveis de reposição da evapotranspiração (Tabela 36), havendo incremento com o aumento do nível. Observou-se que, de maneira geral, a produção foi baixa, em virtude do reduzido número de cachos produzidos; em função do modelo matemático (Figura 18F) verificaram-se produções oscilando de 81,0 g a 191,5 g por planta, com correspondência de 18,4 g de sementes por incremento de 10 % na reposição da ETc. Nascimento et al. (2004b) concluíram que a água residuária influenciou significativamente todos os componentes da produção, com destaque para a produção de sementes por planta, que atingiu 630,68 g/planta, muito superior à obtida com água de abastecimento, 31,08 g/planta.

Salienta-se que neste experimento não se efetuaram adubações de cobertura (apenas se fez a adubação de fundação), sugerindo que o aporte de nutrientes da água residuária não foi suficiente para promover produções rentáveis.

Também é conveniente salientar que o aporte de P na água residuária foi baixo (4,60 mg L<sup>-1</sup>). Segundo Malavolta (1996), o P desempenha a função de converter energia solar em alimento, fibra e óleo pelas plantas, promove a formação inicial e o desenvolvimento da raiz, o crescimento da planta, afeta a qualidade dos frutos e dos grãos e é vital para a formação de sementes. Neste contexto, a baixa produção pode ser atribuída ao desbalanceamento de nutrientes da água de irrigação. Segundo Santos et al. (2004) sob deficiência de N, a frutificação é fraca, quando ocorre, dá-se com poucos cachos e frutos com peso abaixo do esperado.

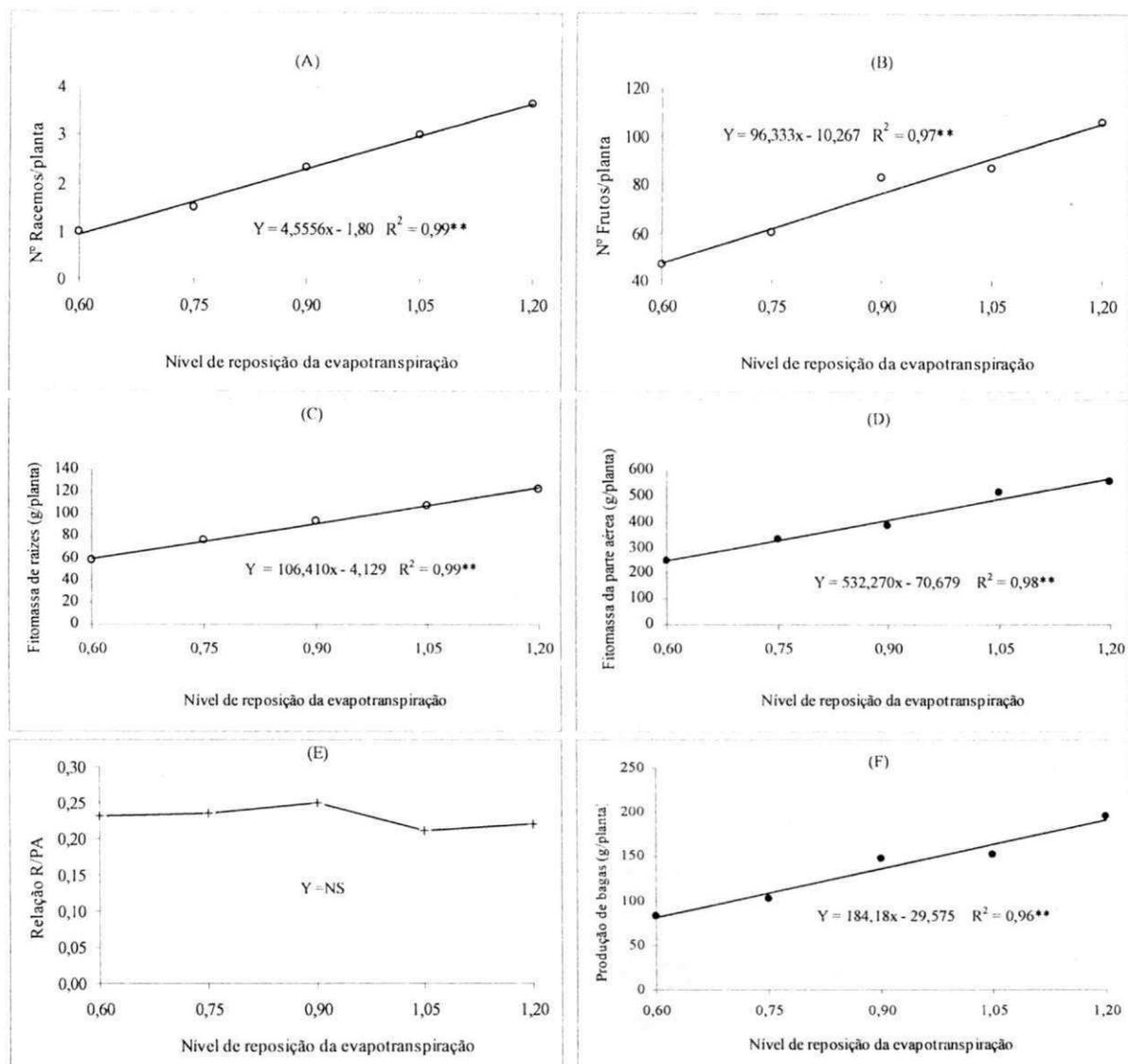
Para Carvalho (2005), na maioria dos casos, a adubação representa diferença entre um lucro substancial e uma perda. Muitos acreditam que nenhum outro insumo leva a retornos tão elevados quanto o uso eficiente dos fertilizantes, entretanto, ficou evidenciada a sensibilidade da mamoneira quando cultivada sob déficit hídrico, de modo que se verificou, entre 'Nr<sub>1</sub>' e 'Nr<sub>5</sub>', acréscimo de 136,5 % na produção de bagas (Figura 19F).

Como nos demais componentes de produção, antes discutidas, não se observou diferença significativa entre as duas cultivares testadas nem interação significativa entre os fatores estudados (Tabela 36).

**Tabela 36** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para número de racemos por planta (NR), N° de frutos por planta (N° Frts.), fitomassa de raízes (FR), fitomassa da parte aérea (FPA), relação raiz parte aérea (R/PA) e produção de bagas (PB), aos 174 dias após a semeadura-DAS. Campina Grande – PB, 2006

F. de Variação	GL	Quadrados Médios					
		NR 174 DAS	N° Frts 174 DAS	FR 174 DAS	FPA 174 DAS	R/PA 174 DAS	PB 174 DAS
Nível Repos. (Nr)	4	7,0333**	3220,30**	3840,60**	97217,08**	0,0013 <sup>NS</sup>	11897,2**
Regr. Linear	1	26,8167**	11816,1**	15287,1**	382468,73**	0,0013 <sup>NS</sup>	45796,7**
Regr. Quadr.	1	0,1071 <sup>NS</sup>	61,71 <sup>NS</sup>	65,1905 <sup>NS</sup>	12,9800 <sup>NS</sup>	0,0008 <sup>NS</sup>	23,73 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,6000 <sup>NS</sup>	123,27 <sup>NS</sup>	3,9066 <sup>NS</sup>	1579,4244 <sup>NS</sup>	0,0007 <sup>NS</sup>	133,057 <sup>NS</sup>
Regr. 4° Grau	1	0,6095 <sup>NS</sup>	880,15*	6,1904 <sup>NS</sup>	4807,1753 <sup>NS</sup>	0,0023 <sup>NS</sup>	1635,06 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,7000 <sup>NS</sup>	70,233 <sup>NS</sup>	198,8216 <sup>NS</sup>	1012,34 <sup>NS</sup>	0,0018 <sup>NS</sup>	179,146 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	0,8333 <sup>NS</sup>	67,50 <sup>NS</sup>	129,5841 <sup>NS</sup>	2951,0017 <sup>NS</sup>	0,0010 <sup>NS</sup>	55,5152 <sup>NS</sup>
Interaç. (Nr x Cv)	4	0,5000 <sup>NS</sup>	93,50 <sup>NS</sup>	212,6831 <sup>NS</sup>	2867,5080 <sup>NS</sup>	0,0018 <sup>NS</sup>	390,7952 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,3296	139,79	99,3716	2505,5643	0,0018	377,8193
CV(%)	-	24,96	15,47	10,88	12,26	18,66	14,27
Cultivar (Cv)	Médias						
	---	---	.....g/planta.....			---	g/planta
	BRS Paraguaçu	2,4667	74,9333	93,7213	418,2807	0,2240	134,8293
	BRS Nordeste	2,1333	77,9333	89,5647	398,4447	0,2353	137,5500
	DMS	0,4404	9,0702	7,6473	38,4001	0,0329	14,9115

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F



**Figura 18** – N° de racemos (A) e frutos (B), fitomassa de raízes (C) e da parte aérea (D), relação raiz parte aérea (E) e produção de bagas (F) aos 174 dias após a semeadura-DAS, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.13 – Evapotranspiração Medida (ETc M)

A evapotranspiração da cultura foi calculada por balanço hídrico (subitem 3.8 em Material e Métodos). Os resumos das análises estatísticas estão apresentados na Tabela 37. Como previsto, as taxas de evapotranspiração da cultura (ETc) aumentaram proporcional e linearmente com as lâminas de irrigação, de modo que entre  $Nr_1$  e os demais níveis,  $Nr_2$ ,  $Nr_3$ ,  $Nr_4$  e  $Nr_5$ , para os quatro períodos, os acréscimos foram na ordem de 20, 40, 60 e 80 %, respectivamente. Tal tendência de linearidade fica evidenciada na Figura 19A e 19B, de modo que as curvas se sobrepõem às médias plotadas e, também, pelos elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ) representando alto grau de associação entre as lâminas e a

evapotranspiração. No tocante ao fator 'cultivar', verifica-se que não houve efeito significativo sobre a evapotranspiração do sistema solo-planta, sendo o consumo de água praticamente igual entre a BRS Nordestina e a BRS Paraguaçu (Tabela 37).

Observa-se, nas Figuras 19C e 19D, que o consumo de água pelas plantas aumentou com o desenvolvimento fenológico, ocorrendo o pico entre 90 e 132 dias após a semeadura, quando também se verificou o máximo de área foliar e com as plantas na fase de frutificação, informação importante para programação do plantio da mamoneira; no último período, a ETc foi diminuída devido à maturação das plantas e, principalmente, à redução da área foliar com a senescência e abscisão natural das folhas.

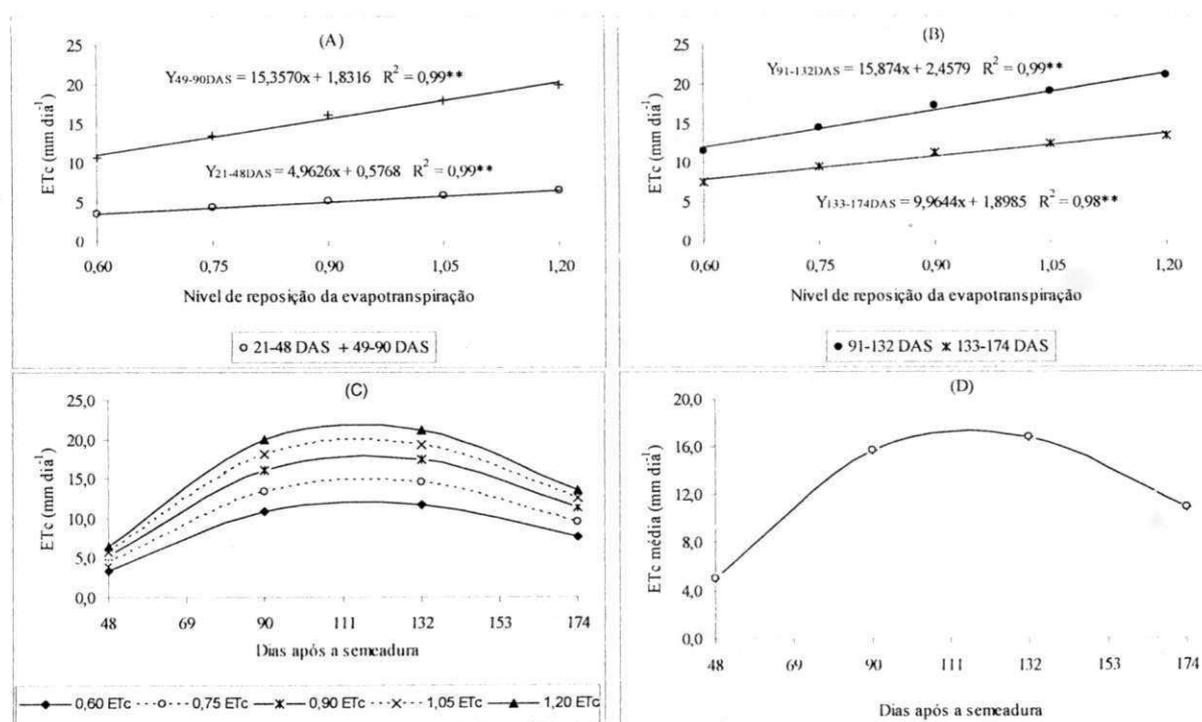
As exigências de água pela cultura são influenciadas pelas condições atmosféricas e pela área foliar das plantas; salienta-se que o máximo de área foliar ocorreu por volta dos 100 DAS (Figura 9C, já discutida). Também foram registradas elevadas temperaturas neste período, com média superior a 30 °C e máxima próxima de 38 °C (Figura 1). O aumento da evapotranspiração com a área foliar deve ser atribuído à transpiração, haja vista que a evaporação do solo tende a diminuir com o sombreamento.

Mediante análise mais detalhada das Figuras 19A e 19B, ainda é possível perceber o consumo diferenciado entre os períodos de tempo estudados. Bezerra (2004) verificou que o consumo de água pela cultivar 'Íris' na fase reprodutiva, correspondeu a 67,48 % do total. Curi & Campelo Júnior (2004) verificaram, nas condições de campo, em Mato Grosso (22 a 27 °C) que a evapotranspiração média da cultivar 'Íris' de mamoneira foi de 4 mm dia<sup>-1</sup>, bem inferior às médias registradas na corrente pesquisa, 5 a 17 mm dia<sup>-1</sup>.

**Tabela 37** - Resumos das análises de variância e médias para ETc em quatro períodos 21-48, 49-90, 91-132 e 133-174 dias após a semeadura-DAS. Campina Grande – PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		ETc 21-48 DAS	ETc 49-90 DAS	ETc 91-132 DAS	ETc 133-174 DAS
Nível repos. (Nr)	4	8,36994**	79,6021**	86,10064**	34,17584**
Regr. Linear	1	33,46699**	318,39991**	344,3837**	136,5049**
Regr. Quadr.	1	0,00401 <sup>NS</sup>	0,001332 <sup>NS</sup>	0,00128 <sup>NS</sup>	0,00048 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,00079 <sup>NS</sup>	0,00013 <sup>NS</sup>	0,01289 <sup>NS</sup>	0,00076 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,00611 <sup>NS</sup>	0,00699 <sup>NS</sup>	0,00071 <sup>NS</sup>	0,19722 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,00667 <sup>NS</sup>	0,00652 <sup>NS</sup>	0,00653 <sup>NS</sup>	0,00084 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	0,00002 <sup>NS</sup>	0,00019 <sup>NS</sup>	0,00273 <sup>NS</sup>	0,00945 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	0,00007 <sup>NS</sup>	0,00061 <sup>NS</sup>	0,01649 <sup>NS</sup>	0,00667 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,00338	0,01622	0,01619	0,00382
CV(%)	-	1,15	0,81	0,76	0,57
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (mm dia<sup>-1</sup>)</b>			
BRS Paraguaçu		5,0440	15,6508	16,7538	10,8487
BRS Nordestina		5,0423	15,6560	16,7347	10,8842
DMS		0,0446	0,0977	0,0976	0,0474

(\*\*) Efeito significativo a 1% e (\*) a 5% de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F



**Figura 19** – Evapotranspiração da cultura (ETc) em quatro períodos (A e B) e variação temporal (C e D), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.14 – Evapotranspiração Estimada (ETc E)

Tanto na Tabela 38 como na Figura 20 está apresentado o resumo comparativo entre a evapotranspiração da cultura medida (ETc M), discutida no subitem anterior, e a evapotranspiração da cultura estimada (ETc E), descrita em Material e Métodos (subitem 3.9).

Verifica-se pelos resultados, que a ETc estimada a partir dos coeficientes de cultivo (kc) e da evapotranspiração de referência 'ETo', (ETc E = kc\*ETo) subestima a evapotranspiração da cultura (ETc medida). A estimativa da ETo pelo método Samani-Hargreaves é uma metodologia que deve ser corrigida para fins de irrigação da mamoneira em ambiente protegido, mediante uso de um fator de correção – FC, (FC = ETc Medida/ETc Estimada). Tem-se na Tabela 38, os 'FCs' para quatro períodos. Nos períodos de maior consumo (49 a 90 e 91 a 132 DAS), a ETc estimada representa cerca de 50 % da ETc medida, resultando em um fator de correção próximo a 2,00. Em geral, sugere-se a utilização do valor médio 1,78 como fator de correção da ETo e, conseqüentemente da ETc estimada:

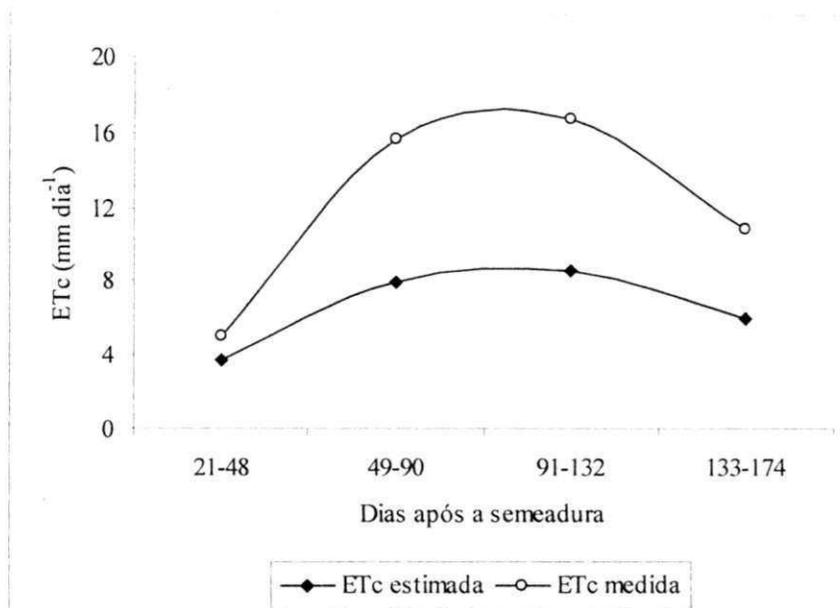
$$ETo = 1,78x\{0,0023xQ_0x\sqrt{(T_{máx} - T_{mín})}x(T_m + 17,8)\}$$

$$ETc = kc * ETo$$

Cavalcanti (2007), pesquisando cajueiro sob estresse hídrico em ambiente protegido, verificou que os métodos 'Hargreaves-Samani', Tanque classe 'A' e Penman-Monteith subestimavam as lâminas; ainda assim, o método 'Hargreaves-Samani' foi o que mais se aproximou, sendo necessário também, a determinação de um fator de correção (Fc) para o cajueiro.

**Tabela 38** – Fator de correção (FC) obtido para a equação da Samani-Hargreaves. Campina Grande – PB, 2006

Período (DAS)	ETc Estimada (mm dia <sup>-1</sup> )	ETc Medida (mm dia <sup>-1</sup> )	FC = ETc Medida/ETc Estimada
21-48	3,70	5,04	1,36
49-90	7,96	15,65	1,97
91-132	8,54	16,74	1,96
133-174	5,96	10,87	1,82
<b>Média</b>	<b>6,54</b>	<b>12,07</b>	<b>1,78</b>



**Figura 20** – Evapotranspiração da cultura (ETc) medida e estimada durante o período experimental. Campina Grande – PB, 2006

#### 4.15 – Coeficientes de Cultivo Obtidos (kc)

Apresentam-se na Tabela 39 e na Figura 21, os coeficientes de cultura (kc) obtidos em quatro períodos para a cultura da mamoneira em condições de ambiente protegido.

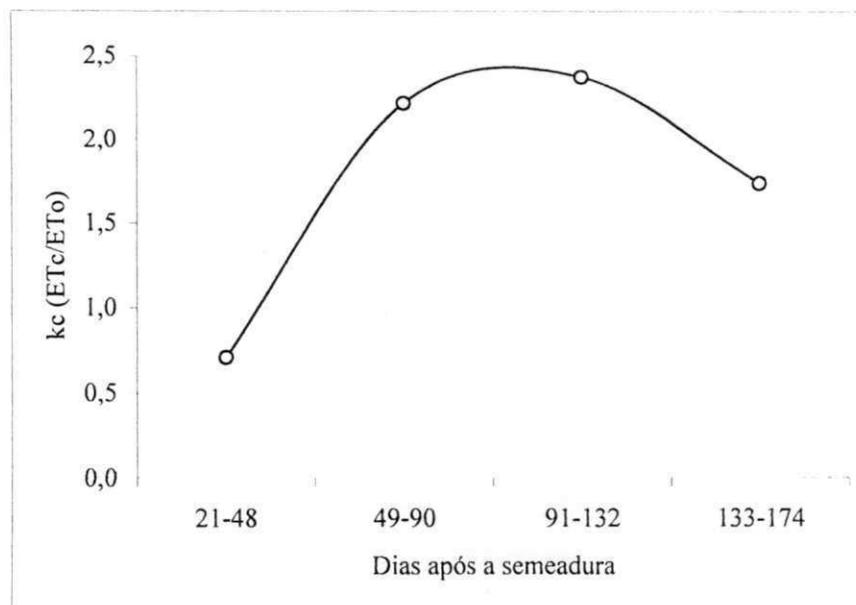
Notam-se valores altos de coeficiente de cultura devido à elevada demanda climática em ambiente protegido, condição que favorece a maior evapotranspiração do sistema solo-planta. Os coeficientes de cultivo (kc) obtidos para a mamoneira em condições de campo (0,32 a 1,20) são bem inferiores segundo Doorenbos & Pruitt (1997) e Bezerra (2004).

Como foi discutido no subitem anterior, o método de Samani-Hargreaves subestimou a ETo para ambiente protegido. Portanto, para a utilização do método de Samani-Hargreaves, nas condições desta pesquisa, ou se usa os fatores de correção apresentados na Tabela 38, ou se adotam os coeficientes de cultivos contidos na Tabela 39.

Mediante análise da Figura 21, observa-se que o maior valor de kc, (aproximadamente 2,40) coincidiu com o período em que ocorreu o máximo de área foliar e maior consumo diário, ocasião em que as plantas encontravam-se em plena floração e frutificação.

**Tabela 39** – Coeficientes de cultivo ( $k_c$ ) da mamoneira obtidos em ambiente protegido. Campina Grande – PB, 2006

Período (DAS)	ETc Medida (mm dia <sup>-1</sup> )	ETo Estimada (mm dia <sup>-1</sup> )	$k_c =$ ETc Medida/ETo Estimada
21-48	5,04	7,14	0,71
49-90	15,65	7,06	2,22
91-132	16,74	7,05	2,37
133-174	10,87	6,26	1,74
<b>Média</b>	<b>12,07</b>	<b>6,54</b>	<b>1,76</b>



**Figura 21** – Coeficientes de cultivo ( $k_c$ ) da mamoneira obtidos em ambiente protegido em quatro períodos. Campina Grande – PB, 2006

#### 4.16 – Fertilidade do Solo ao Final do Experimento

O efluente de esgoto utilizado continha em média 31,5, 4,60 e 26,82 mg L<sup>-1</sup> de N, P e K, respectivamente (Tabela 18). A irrigação com essa ‘água’, a uma taxa de 500 mm ano<sup>-1</sup> (necessidade mínima da mamoneira) adicionaria ao solo o equivalente a 158,0, 23,0 e 134,0 kg de N, P e K, respectivamente. Embora esta estimativa não contemple um aspecto fundamental que é a forma como os nutrientes se encontram no efluente, fica evidenciado o potencial de uso da água residuária doméstica em algum tipo de produção agrícola.

Apresentam-se, na Tabela 40, os resumos estatísticos referentes a alguns atributos da fertilidade do solo ao final do experimento; verifica-se efeito significativo dos níveis de reposição da evapotranspiração sobre os cátions extraíveis K, Ca, Mg e Na, não havendo efeito sobre o N e P do solo. Também não foi registrada interação significativa dos níveis de reposição de água x cultivar sobre os respectivos atributos, tampouco foi detectada diferença

significativa entre as cultivares. Nascimento (2003) mencionou que 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.

Comprova-se, em vários estudos, a importância da irrigação com efluentes de esgoto em suprir, em parte, as quantidades dos elementos, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, requeridos pelas culturas, chegando a aumentar a produtividade agrícola (HESPANHOL, 2002; KOURAA et al., 2002; MELI et al., 2002).

### **Nitrogênio Orgânico (N-Org) no Solo**

Verifica-se, de acordo com a Tabela 40, que os níveis crescentes de reposição da evapotranspiração com o efluente de esgoto não afetaram significativamente o conteúdo de nitrogênio no solo. A concentração média de nitrogênio no solo (profundidade de 20 cm), ao final do experimento, girou em torno de 0,12 % ( $1,20 \text{ g kg}^{-1}$ ), com pouca variação entre os índices de reposição (Figura 22A).

Por ocasião do plantio a concentração de N-Org no solo era de  $0,26 \text{ g kg}^{-1}$  (Tabela 17). Ao se comparar este valor com a concentração obtida no final da pesquisa ( $1,20 \text{ g kg}^{-1}$ ), deduz-se que houve uma melhora substancial da fertilidade do solo, no tocante ao N-Org (362 %) com a disposição de esgoto doméstico, cujo aporte médio de nitrogênio total era da ordem de  $31,5 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabelas 18 e 19). Nascimento (2003), verificou, em pesquisa com a mamoneira, acréscimo de N-Org no solo em 725 % nas parcelas das plantas irrigadas com água residuária de esgoto em relação à água de abastecimento.

Medeiros et al. (2005) constataram que a aplicação de água residuária doméstica contendo em média  $48,01 \text{ mg L}^{-1}$  de N-total, mais rica que a água da presente pesquisa ( $31,5 \text{ mg L}^{-1}$ ), só foi capaz de suprir 72 % da demanda desse nutriente pelo cafeeiro com a aplicação da lâmina maior,  $532 \text{ mm ano}^{-1}$ .

Segundo Ayers & Westcot (1999), o nitrogênio contido nas águas de irrigação tem o mesmo efeito para as plantas que o aplicado via fertilizantes; portanto, a aplicação de quantidades excessivas com a irrigação pode aumentar o crescimento vegetativo, retardar a maturação ou provocar colheitas de baixa qualidade. Considerando os volumes consumidos por planta (279,45, 335,55, 391,62, 447,69 e  $503,76 \text{ L}$ ) deduz-se que foram fornecidos, via água residuária, 8,80, 10,57, 12,34, 14,10 e  $15,87 \text{ g/planta}$ , para os tratamentos 0,60, 0,75, 0,90, 1,05 e 1,20ETc, respectivamente. Essas quantidades aportadas na água residuária não

foram suficientes para promoção de produção favorável da mamoneira; como foi discutido anteriormente, cada planta produziu entre 1 e 4 cachos.

As concentrações elevadas de nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e DQO, nas águas residuárias, podem contaminar o meio ambiente, porém, se utilizadas na agricultura restabelecem as fontes deste nutriente no solo, resultando em uma reserva deste fertilizante, o qual possui grande importância econômica na produção de culturas (FEIGIN, RAVINA & SHALHEVET, 1991).

O fator mais importante para as plantas é o nitrogênio total, mesmo que seu teor se expresse em forma de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), de amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) ou como nitrogênio orgânico (AYERS & WSETCOT, 1999). O nitrogênio mais facilmente assimilável se encontra na forma de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ .

### **Fósforo no Solo**

Também não se observou efeito significativo dos níveis de reposição da evapotranspiração sobre o fósforo no solo (Tabela 40). Ao se atentar para a Tabela 17, vê-se que a concentração inicial de P no solo (após a adubação) se encontrava elevada ( $122,60 \text{ mg kg}^{-1}$ ); observou-se, ao final da pesquisa, menor concentração de P no solo, que continha, em média, cerca de  $109 \text{ mg kg}^{-1}$ , porém considerada elevada (Figura 22B). A concentração média na água de irrigação era menos de  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabelas 18 e 19), provenientes do uso de sabões e detergentes sintéticos, restos de alimentos e outras formas de matéria orgânica em decomposição.

Chama-se a atenção para o fato de que para esse experimento só se realizou a adubação de plantio considerando a metodologia descrita para experimentos conduzidos em ambientes protegidos:  $100, 300$  e  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente (NOVAIS, NEVES & BARROS, 1991), em que se aplicaram apenas  $\frac{1}{4}$  N, todo o P e todo o K; neste caso, quando se realizou a semeadura, dos  $300 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  aplicados, apenas  $122,60 \text{ mg kg}^{-1}$  estavam disponíveis.

Lucena et al. (2006) concluíram que o uso de efluente de esgoto tratado quando comparado com o uso da água de abastecimento, melhorou as propriedades químicas do Neossolo Quartzarênico, no que diz respeito ao aumento dos teores de P e matéria orgânica do solo. Ao contrário desta pesquisa, Nascimento (2003) constatou incremento de 321 % no teor de P nas parcelas irrigadas com água residuária que continha  $5,51 \text{ mg L}^{-1}$  de P, de forma que houve um salto de  $4,09 \text{ mg dm}^{-3}$  para  $23,88 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Considerando o P assimilável aportado na água de irrigação, cerca de  $4,60 \text{ mg L}^{-1}$ , e que foram aplicados, em média,  $392 \text{ L/planta}$ , deduz-se que foi fornecido, via irrigação, apenas  $1,8 \text{ g/planta}$ . Medeiros et al. (2005) relataram que a aplicação de água residuária contendo em média  $12,64 \text{ mg L}^{-1}$  de P, embora muito mais rica que a do presente estudo, só foi capaz de suprir adequadamente as necessidades desse nutriente pelo cafeeiro com a aplicação da lâmina maior,  $532 \text{ mm ano}^{-1}$ .

Considerando a concentração observada ao término do experimento, o fósforo parece não ter sido fator limitante da produção. Na mamoneira a carência de fósforo, causa de início, redução do crescimento devido à redução na absorção de nutrientes, da taxa fotossintética e da translocação interna de carboidratos (FERREIRA et al., 2004). De acordo com Rajj (1991), um suprimento adequado de P promove um bom desenvolvimento radicular, boa formação de frutos e a precocidade da produção.

### **Potássio Extraível no Solo**

Ao contrário do que ocorreu para N e P, constatou-se haver efeito significativo da água residuária aplicada sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração sobre a concentração de K, ao nível de 0,01 de probabilidade, pelo teste F (Tabela 40), ocorrendo redução linear (Figura 22C).

O conteúdo de potássio extraível no solo decresceu 23,51 % entre  $Nr_1$  e  $Nr_5$ ; o aporte desse nutriente nos esgotos domésticos, assim como o de N, é elevado. De acordo com as Tabelas 17 e 18, a concentração média de K no solo e na água de irrigação era  $0,20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e  $26,82 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. A redução de  $K^+$  na medida em se aplicavam maiores volumes de água pode ser atribuída à lixiviação, uma vez que as amostras foram coletadas até 20 cm de profundidade. Durante o experimento ocorreu uma pequena evolução na concentração de potássio, de modo que no final da pesquisa o solo continha em média  $2,90 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$  ( $0,29 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), considerada concentração média (0,11 a  $0,30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) segundo os manuais de interpretação de análise de solo da Embrapa (1997a).

De acordo com Feigin, Ravina & Shalhevet (1991), a irrigação com efluente não satisfaz as necessidades das culturas em K, porém pode promover o aumento dos teores no solo, como ocorreu no presente trabalho. Medeiros et al. (2005) constataram que a aplicação da lâmina maior,  $532 \text{ mm ano}^{-1}$  de água residuária, contendo em média  $32,30 \text{ mg L}^{-1}$  de K (concentração maior que a da presente pesquisa), só foi capaz de suprir 58 % da demanda desse nutriente pelo cafeeiro devido à grande exigência da cultura.

### **Cálcio e Magnésio Extraíveis no Solo**

Enquanto a concentração de K extraível diminuiu com o incremento das lâminas, as de cálcio e magnésio aumentaram (Figura 22D e 22E). Verificaram-se acréscimos sucessivos de 7,20 e 32,18 % nas concentrações de Ca e Mg no solo que recebeu 1,20 ETc comparadas àquelas do solo submetido a 0,60 ETc. Esta melhoria na fertilidade pode ser atribuída à água utilizada para irrigação, que continha teores médios de cálcio ( $56,10 \text{ mg L}^{-1}$ ) e magnésio ( $39,04 \text{ mg L}^{-1}$ ) adequados, e que, de acordo com Ayers & Westcot (1999), podem variar de 0 a  $400 \text{ mg L}^{-1}$  e 0 a  $60 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, dentro dos padrões.

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, concordando com Nascimento (2003). Por outro lado, Medeiros et al. (2005) apontaram que a água residuária pode ser uma alternativa de aporte de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  ao solo, em substituição às fontes tradicionais de calcário. O acréscimo ou decréscimo desses elementos está diretamente relacionado com a concentração na água residuária aplicada, com a concentração absorvida pelas plantas e com a lixiviação no perfil do solo.

As disponibilidades de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  no início do experimento após a calagem (Tabela 17) estavam elevadas,  $14,84$  e  $7,63 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , respectivamente; já as concentrações médias desses dois macronutrientes, foram, ao final desta pesquisa, bem inferiores,  $3,28$  e  $1,52 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , respectivamente, porém consideradas boas, segundo interpretações de resultados de análise de solo (LOPES & GUIDOLIN, 1989; EMBRAPA, 1997a).

Segundo Johns & McConchie (1994), a entrada de  $\text{Na}^+$  pela aplicação de efluente pode competir com  $\text{Ca}^{+2}$  e o  $\text{Mg}^{+2}$  e substituí-los na superfície dos colóides com redução da disponibilidade dos nutrientes às plantas. A diminuição da disponibilidade de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  em relação à condição inicial (antes do cultivo) se deve, também, à extração pela planta. Outra provável explicação é a elevada concentração de carbonato ( $40,80 \text{ mg L}^{-1}$ ) e, principalmente, de bicarbonato ( $478,75 \text{ mg L}^{-1}$ ), que causam a precipitação de  $\text{Ca}^{+2}$ . Nascimento (2003), ao comparar com o estado inicial, também não verificou incremento de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  nos solos após a condução experimental com água residuária.

### **Sódio Extraível no Solo**

Pelas análises de regressões para a concentração de sódio extraível no solo, constata-se efeito linear significativo (Tabela 40), porém decréscimo linear foi observado apenas sob níveis de reposição superiores a 90 % da evapotranspiração, devido,

provavelmente, à lixiviação, reduzindo a sua concentração, seja como cátion trocável ou solúvel (Figura 22F).

Ainda na análise da Figura 22F, a concentração de  $\text{Na}^+$  extraível observada nos três níveis iniciais (0,60, 0,75 e 0,90 ETc), pouco variou, com média de  $23,89 \text{ mmol}_e \text{ kg}^{-1}$ , razão por que se optou pela curva segmentada,  $Y = 23,89 - 23,056(x - 0,90)$ , válida para ' $\text{Nr} > 0,90$ ', como função de resposta que melhor explica os efeitos dos níveis de reposição da evapotranspiração.

A concentração de  $\text{Na}^+$  por ocasião da semeadura era  $14,7 \text{ mmol}_e \text{ kg}^{-1}$ , enquanto ao término do experimento a concentração média foi  $21,3 \text{ mmol}_e \text{ kg}^{-1}$ ; esse acréscimo pode ser devido à concentração de sódio da água de esgoto usada na irrigação,  $141,80 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\cong 6,16 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ ). Lucena et al. (2006) verificaram que o teor do sódio trocável (Na) aumentou nas unidades experimentais que foram irrigadas com efluente de esgoto tratado, cuja concentração de  $\text{Na}^+$  era  $193 \text{ mg L}^{-1}$ . Segundo 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 do sódio.

Nascimento (2003) verificou, ao término do experimento, que as parcelas conduzidas com água de abastecimento e água residuária acumularam 6,84 e 37,65  $\text{mmol}_e \text{ L}^{-1}$ , respectivamente. Essas concentrações são bastante elevadas podendo, então, constituir fator limitante para uso de água residuária em razão de haver possibilidade de acúmulo de sódio ao longo do tempo de uso.

Práticas especiais de manejo, como aplicação de lâminas de lixiviação (conforme ocorria nos tratamentos 105 e 120 % ETc), aplicação de água de melhor qualidade no tocante ao sódio em determinados períodos e a suspensão do reúso durante o período chuvoso, podem contribuir para a lixiviação do elemento abaixo da zona radicular.

Observou-se, na água residuária, relação  $\text{Ca}:\text{Mg} < 1,0$  ( $\text{mmol}_e \text{ L}^{-1}:\text{mmol}_e \text{ L}^{-1}$ ) e RAS média de  $3,55$  ( $\text{mmol L}^{-1}$ )<sup>1/2</sup>. De acordo com Ayers & Westcot (1999), essa água é classificada como sendo de risco ligeiro a moderado.

Os efeitos do sódio são ligeiramente maiores quando, na água da irrigação, a proporção  $\text{Ca}:\text{Mg}$  é menor que a unidade, isto é, que determinado valor de RAS é ligeiramente mais perigoso quando a proporção  $\text{Ca}:\text{Mg}$  é menor que um e, quanto mais baixa for esta proporção, maior será o perigo dessa RAS (AYERS & WESTCOT, 1999).

Medeiros et al. (2005) constataram que a água residuária contendo  $43,18 \text{ mg}$  de Na por litro não indicou restrições de uso no que se refere à toxicidade de íons específicos, em razão da concentração menor que  $69 \text{ mg L}^{-1}$  ( $= 3,0 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ ) durante o período de

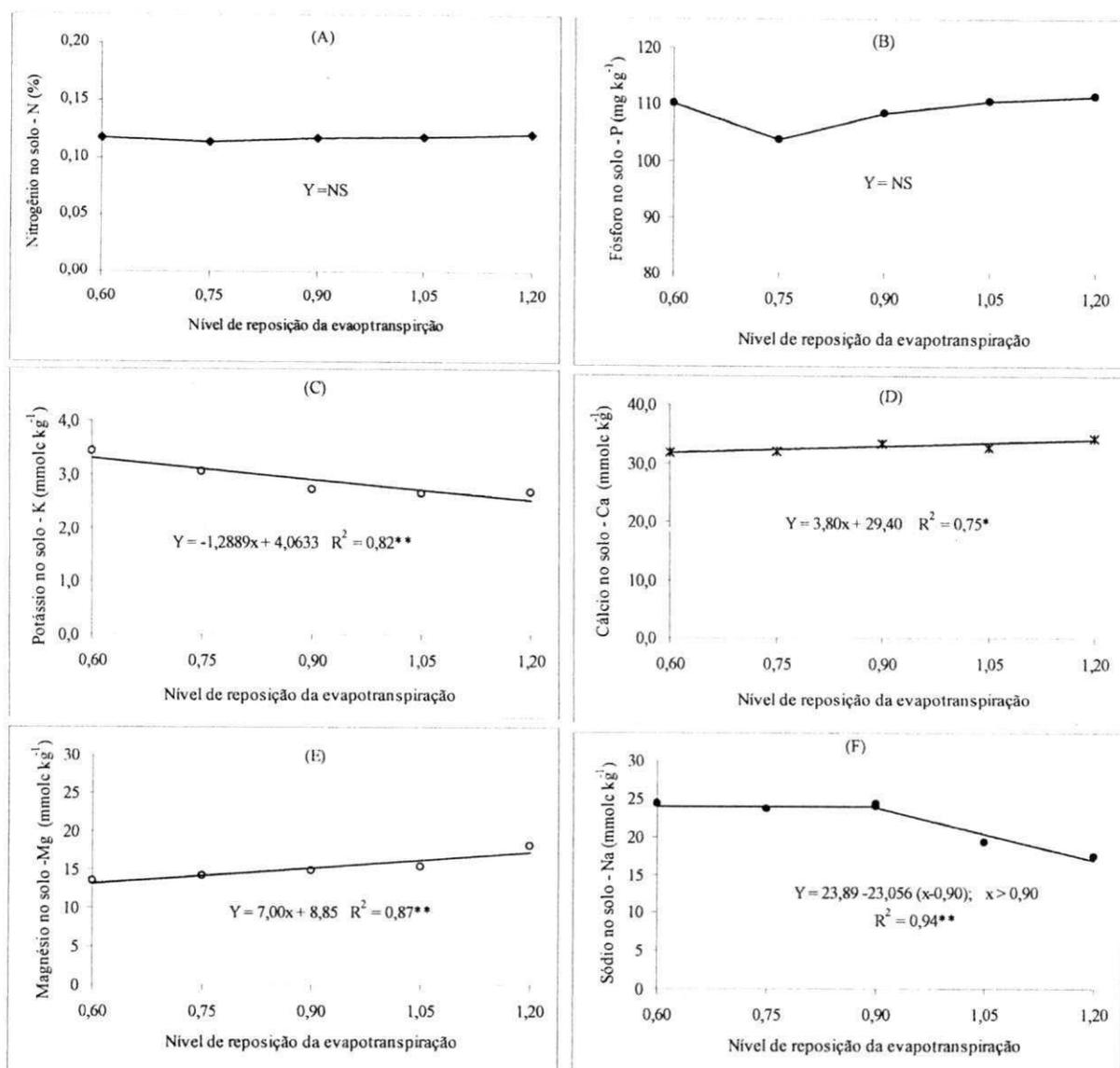
monitoramento. Na presente pesquisa, embora com água residuária contendo o dobro em sódio, 141,80 mg L<sup>-1</sup> ( $\cong$  6,16 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), também não se observaram efeitos de fitotoxicidez.

A aplicação contínua de água residuária, com CE de 1,40 dS m<sup>-1</sup> e uma RAS de 3,55 (mmol L<sup>-1</sup>)<sup>0,5</sup>, utilizada neste trabalho (características apresentadas na Tabela 18), pode, ao longo do tempo, causar problemas de infiltração ao solo, decorrente da sodicidade. Já Medeiros et al. (2005) notaram que a água residuária com CE de 0,56 dS m<sup>-1</sup>, contendo 43,18 mg L<sup>-1</sup> de Na<sup>+</sup> não ocasionou problemas de salinidade e o sódio adsorvido se encontrou abaixo dos limites prejudiciais para a cultura do café.

**Tabela 40** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para fertilidade do solo (0-20 cm), aos 174 dias após a semeadura (N, P, K, Ca, Mg e Na extraíveis). Campina Grande - PB, 2006

F. de Variação	GL	Quadrados Médios					
		N	P	K	Ca	Mg	Na
Nível repos. (Nr)	4	0,000037 <sup>NS</sup>	57,624667 <sup>NS</sup>	0,686167**	6,503667 <sup>NS</sup>	19,08500 <sup>NS</sup>	77,0688**
Regr. Linear	1	0,000082 <sup>NS</sup>	56,066667 <sup>NS</sup>	2,090667**	19,494000*	66,15000*	239,6002**
Regr. Quadr.	1	0,000030 <sup>NS</sup>	64,487619 <sup>NS</sup>	0,550476 <sup>NS</sup>	0,171905 <sup>NS</sup>	5,973333 <sup>NS</sup>	14,5001 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,000027 <sup>NS</sup>	88,816667 <sup>NS</sup>	0,006000 <sup>NS</sup>	0,840167 <sup>NS</sup>	3,750000 <sup>NS</sup>	17,3882 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,000009 <sup>NS</sup>	21,127714 <sup>NS</sup>	0,097524 <sup>NS</sup>	5,508595 <sup>NS</sup>	0,466667 <sup>NS</sup>	36,7869 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,000520 <sup>NS</sup>	46,996000 <sup>NS</sup>	0,044333 <sup>NS</sup>	4,788000 <sup>NS</sup>	2,107000 <sup>NS</sup>	1,4303 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	0,000003 <sup>NS</sup>	419,62800 <sup>NS</sup>	0,040333 <sup>NS</sup>	9,633333 <sup>NS</sup>	22,70700 <sup>NS</sup>	53,0670 <sup>NS</sup>
Interaç. (Nr x Cv)	4	0,000120 <sup>NS</sup>	168,60467 <sup>NS</sup>	0,141167 <sup>NS</sup>	4,661667 <sup>NS</sup>	16,82533 <sup>NS</sup>	6,0462 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,000176	129,104148	0,142852	5,583185	9,380704	14,259222
CV(%)	-	11,32	10,44	13,02	7,20	20,22	17,75
Cultivar (Cv)	Médias						
	%	mg kg <sup>-1</sup>	.....mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> .....				
BRS Paraguaçu	0,1167	105,1000	2,9400	33,3867	16,0200	19,9467	
BRS Nordestina	0,1173	112,5800	2,8667	32,2533	14,2800	22,6067	
DMS	0,0102	8,7166	0,2899	1,8127	2,3496	2,8969	

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F



**Figura 22** - Fertilidade do solo (0-20 cm) aos 174 dias após a semeadura (N, P, K, Ca, Mg e Na extraíveis), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

### Potencial Hidrogeniônico (pH) do Solo

De acordo com a Tabela 41 e Figura 23A, vê-se que não houve efeito significativo sobre o pH do solo; entretanto, considerando-se que o pH inicial do solo era 6,33 deduz-se que a disposição de esgoto (pH médio = 7,79) no solo causou elevação considerável do pH, atingindo valor acima de 7,80, com pouca variação entre as duas cultivares. Lucena et al. (2006) também 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 (aumento de 0,7 unidade), mas com menor intensidade em relação a esta pesquisa, cujo aumento foi de 6,33 para 7,83 (aumento de 1,5 unidade). Xavier (2007), em estudo envolvendo a cultivar BRS Nordestina e águas residuárias tratadas de três

indústrias da cidade de Campina Grande, também observou, aos 135 dias após a semeadura, elevação dos valores de pH, que giraram entre 6,68 e 8,59. Com a aplicação de esgotos no solo, além do aporte de nutrientes, há a possibilidade da correção da acidez, disponibilizando mais ainda nutrientes para as plantas.

Medeiros et al. (2005) notaram que o manejo com água residuária foi mais efetivo no aumento do pH do solo, comparativamente ao manejo convencional que recebeu calagem, ocorrendo diminuição da acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) e da acidez potencial ( $H + Al$ ), fato que os autores atribuíram ao aumento da alcalinidade do solo e dos cátions trocáveis ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  e  $Na^{+}$ ). Diminuições da acidez trocável e potencial têm sido verificadas em solos que recebem aplicação de águas residuárias (JOHNS & McCONCHIE, 1994).

Segundo Ayers & Westcot (1999) a faixa normal de pH na água de irrigação é 6,50 a 8,40. O pH médio 7,79 da água de esgoto está dentro da faixa, sugerindo que tal água não causaria efeito prejudicial algum, no solo ou nas culturas.

O efeito direto do efluente sobre o pH do solo, pode ser atribuído à elevada concentração de  $HCO_3^-$  ( $478,75 \text{ mg L}^{-1}$ , em média), uma das formas presentes de alcalinidade nas águas residuárias. Também existe a possibilidade da alcalinidade associada a altas concentrações de  $Na^+$  e  $CO_3^{=}$ , em águas alcalinas, ocasionar aumento do valor de pH do solo (BOUWER & IDELOVITCH, 1987).

Apesar do efluente de esgoto tratado poder contribuir para a elevação do pH do solo, tanto na camada superficial como no subsolo, mais pronunciadamente em solos que receberam aplicação de efluentes durante vários anos, este aumento de pH tem sido muito pequeno, da ordem de 0,1 a 0,8 unidade (SMITH, HOPMANS & COOK, 1996); entretanto se verificou, neste trabalho, aumento de 1,50 unidade, ao passar de 6,33 para 7,83.

### **Condutividade Elétrica da Suspensão Solo-Água (CEsa 1:2,5)**

As águas cuja condutividade elétrica (CEa) varia entre 0,70 e 3,00  $dS \text{ m}^{-1}$ , a exemplo da água residuária utilizada nesta pesquisa, são classificadas como sendo de risco moderado quanto ao grau de salinização (AYERS & WESTCOT, 1999). A condutividade elétrica da suspensão solo-água (CEsa) foi significativamente afetada pelos diferentes níveis de reposição da ETe (Tabela 41). A 'CEsa' foi significativamente reduzida quando foram aplicadas lâminas de irrigação superiores a 90 % da evapotranspiração (Figura 23B) devido, provavelmente, à lavagem dos sais com a aplicação de maiores volumes de água tendo em vista que nos tratamentos de 105 e 120 % da ETe, as respectivas frações de lixiviação foram 4,80 e 8,40 %; já Medeiros et al. (2005), investigando alterações químicas no solo, notaram

que, pelo fato da água residuária utilizada ser de baixa salinidade (CE de  $0,56 \text{ dS m}^{-1}$ ), não ocasionou problemas de salinidade para o solo nem para o cafeeiro.

Nota-se pela Figura 23B, CEsa média de  $0,89 \text{ dS m}^{-1}$  até  $0,90 \text{ ETc}$ . Nesse caso os problemas maiores resultaram da aplicação das menores lâminas de irrigação, devido ao fato básico de que as plantas são grandes consumidoras de recursos de água. As plantas em crescimento extraem água (transpiram) e deixam os sais; isto somado à evaporação da água do solo, traz como consequência concentrações de sais na superfície do solo.

Xavier (2007), em estudo envolvendo a cultivar BRS Nordestina e águas residuárias provenientes de indústrias, também observou efeitos significativos das lâminas de irrigação com valores de CEsa variando entre  $0,29$  e  $1,00 \text{ dS m}^{-1}$ , aos 135 dias após a semeadura.

Nascimento (2003), pesquisando a cultivar BRS Nordestina irrigada com água residuária (CE  $1,36 \text{ dS m}^{-1}$ ), em relação à água de abastecimento (CE  $0,59 \text{ dS m}^{-1}$ ), registrou incremento de 222 % na condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes). A CEes final das parcelas irrigadas com água residuária e de abastecimento foi  $1,71$  e  $5,51 \text{ dS m}^{-1}$ , respectivamente. Salienta-se que na presente pesquisa se avaliou a condutividade elétrica da suspensão solo-água (CEsa), sendo seu valor bem inferior ao da CEes, na ordem de 4 a 6 vezes.

Águas da classe C3 ( $0,75$  e  $2,25 \text{ dS m}^{-1}$ ), como a água residuária utilizada nesta pesquisa, não podem ser usadas em solo de drenagem deficiente. Mesmo nos solos de boa drenagem, como o utilizado na pesquisa (franco-arenoso), pode-se necessitar de práticas especiais de controle da salinidade e se deve plantar somente vegetais tolerantes aos sais. O aumento da condutividade elétrica (CE) do solo mediante a irrigação com efluente tem sido comum em sistemas agrícolas, pastagens e florestas, mais pronunciadamente na camada superficial do solo (SMITH, HOPMANS & COOK, 1996).

Verificam-se, ainda, pelas informações contidas na Tabela 41, ausência de efeito significativo do fator 'cultivar' e ausência de efeito interativo.

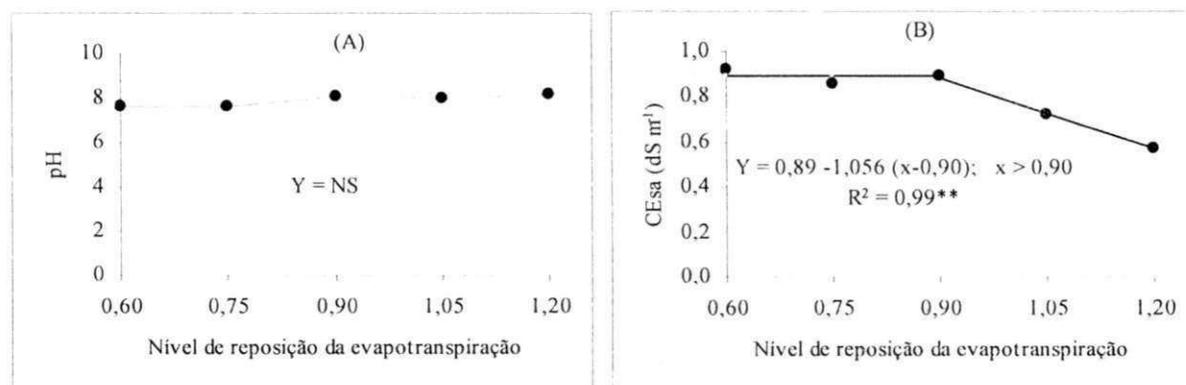
**Tabela 41** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para fertilidade do solo (0-20cm), aos 174 dias após a semeadura (pH e CEsa). Campina Grande – PB, 2006

F. de Variação	GL	Quadrados Médios	
		$[H^+] = 10^{-pH}$	CEsa
Nível de reposição (Nr)	4	1,11E-16 <sup>NS</sup>	0,136787*
Regr. Linear	1	0,0000 <sup>NS</sup>	0,433500**
Regr. Quadrática	1	0,0000 <sup>NS</sup>	0,065186 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,0000 <sup>NS</sup>	0,042667 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,0000 <sup>NS</sup>	0,005794 <sup>NS</sup>
Blocos	2	2,77E-17 <sup>NS</sup>	0,000543 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	8,67E-16 <sup>NS</sup>	0,004320 <sup>NS</sup>
Interação (Nr x Cv)	4	8,07E-17 <sup>NS</sup>	0,003220 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	9,03E-17	0,020640
CV(%)	-	0,00	18,69

Cultivar (Cv)	Médias	
	pH = -log [H <sup>+</sup> ]	dS m <sup>-1</sup>
BRS Paraguaçu	7,8044	0,7567
BRS Nordestina	7,8623	0,7807
DMS	0,2280	0,1102

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F



**Figura 23** - Fertilidade do solo (0-20 cm) aos 174 DAS (pH e CEsa), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.17 – Teores de Macronutrientes nos Tecidos Radiculares e Foliare

Pelas análises estatísticas houve efeitos significativos dos níveis de reposição da evapotranspiração sobre os teores de N, P, Ca, Mg e S nas raízes das plantas e sobre os teores de N, P, K, Ca e S nas folhas, aos níveis de 0,01 e 0,05 de probabilidade, pelo teste F (Tabela 42). Portanto os efeitos dos níveis de reposição da evapotranspiração só não foram significativos para K na raiz e Mg nas folhas. Os efeitos de cultivares não foram significativos para todos os macronutrientes, no entanto a interação (Nr x Cv) foi significativa para Ca nas raízes e Mg nas folhas (Tabelas 42 e 43). Mesmo não havendo significância dos níveis de reposição sobre o magnésio nas folhas e o cálcio nas raízes, após desdobramento da interação, verificaram-se efeitos significativos.

A ordem de concentração de nutrientes nas raízes foi  $N > Ca > K > Mg > S > P$ , com respectivos valores médios de  $11,70 > 5,54 > 4,60 > 2,08 > 1,81 > 1,65 \text{ g kg}^{-1}$ ; nos tecidos foliares,  $K > N > Ca > S > Mg > P$ , ocorrendo as respectivas médias de 20,85, 13,26, 9,22, 6,96, 5,84 e  $2,22 \text{ g kg}^{-1}$ , de modo que a concentração de macronutrientes nas folhas suplantou a concentração nas raízes. Tais resultados são perfeitamente compreensíveis tendo em vista que é na parte aérea onde ocorrem as maiores transformações com o surgimento de novas estruturas, floração, frutificação e maturação. Segundo Santos et al. (2004) com o crescimento apical da planta parte do nitrogênio é mobilizada das folhas inferiores e dirigida para o ápice, de forte atividade metabólica. Lavres Júnior et al. (2005) observaram que a acumulação de nutrientes na cultivar 'Íris' obedeceu à seguinte ordem decrescente  $N > K > Ca > Mg > P > S$ , o que reflete as exigências da planta. De acordo com os mesmos autores, o limbo da terceira folha superior madura é a parte da planta que melhor reflete o estado nutricional da mamoneira e a produção total de matéria seca das plantas é afetada pelas deficiências dos macronutrientes enquanto o N é o mais limitante, sendo este e o K os primeiros elementos com sintomas visuais de deficiência, seguidos de Ca, Mg, S e P.

### **Nitrogênio nos Tecidos Radiculares e Foliares**

Neste experimento se verificou que, sob condições crescentes da lâmina de irrigação, houve incremento linear na concentração de N nos tecidos radiculares e foliares (Figura 24A); os incrementos entre 'Nr<sub>1</sub>' e 'Nr<sub>5</sub>', de acordo com as equações matemáticas, foram 8,79 e 29,68 % para as raízes e folhas, respectivamente, com maiores concentrações nas folhas. Não se observou interação significativa, nem diferença estatística entre as duas cultivares.

Verificaram-se concentrações médias de 11,70 e 13,26 nas raízes e nas folhas, respectivamente. Segundo Malavolta, Vitti & Oliveira (1997) e Furlani (2004), os teores adequados de N para um crescimento normal das plantas variam entre 20 e  $50 \text{ g kg}^{-1}$ . Deduz-se, então, que o aporte de N da água residuária ( $31,50 \text{ mg L}^{-1}$ ) foi baixo, de modo que os nutrientes mais fornecidos via água de irrigação foram Ca, Mg e S. Barros Júnior (2007), pesquisando as mesmas cultivares, adequadamente adubadas e sob as mesmas condições ambientais, constatou maiores concentrações de N, 46,94 e  $33,68 \text{ g kg}^{-1}$ , nas raízes e folhas, respectivamente.

Lavres Júnior et al. (2005), estudando a deficiência de macronutrientes na cultivar 'Íris' observaram, em relação ao tratamento completo (solução nutritiva) que a concentração de N no limbo superior ( $48,10 \text{ g kg}^{-1}$ ) foi significativamente maior que no limbo inferior

(26,90 g kg<sup>-1</sup>) e nas raízes (32,70 g kg<sup>-1</sup>), indício de alta mobilidade do elemento na planta. Os autores verificaram, também que a deficiência de N confrontada ao tratamento completo ocasionou redução na concentração deste nutriente na raiz.

Os resultados reportados pelos autores acima, comparados aos do estudo presente estudo, reforçam a hipótese de que o aporte de N da água de esgoto (31,50 mg L<sup>-1</sup>) foi insuficiente para a mamoneira.

No último período (132 a 174 DAS) se verificaram clorose e abscisão de folhas, com maior intensidade nas folhas inferiores, com redução intensa do número de folhas e, conseqüentemente, da aérea foliar (variáveis anteriormente discutidas) devido, em parte, à carência de N. De acordo com Santos et al. (2004), as plantas adultas de mamoneira iniciam a deficiência visual por um amarelecimento nas folhas inferiores e forte gradiente de perda de cor das folhas inferiores para o ápice é observado, seguido de queda prematura de folhagem.

#### **Fósforo nos Tecidos Radiculares e Foliare**

O teores de nitrogênio e fósforo foram os únicos que aumentaram com o incremento dos níveis de reposição da evapotranspiração (Figura 24B), verificando-se teores mais elevados nas folhas. O fósforo foi o nutriente menos absorvido e fixado pelas raízes com teor médio igual a 1,65 g kg<sup>-1</sup>, variando linearmente de 1,23 em 'Nr<sub>1</sub>' a 2,07 g kg<sup>-1</sup> em 'Nr<sub>5</sub>'. Tal fato explica também a baixa concentração nas folhas, 2,22 g kg<sup>-1</sup>, em média, porém superior ao teor obtido para as raízes (Figura 24B). entretanto esse teores estão dentro da faixa normal, pois segundo Dechen & Nachtigal (2007), os teores de P nas plantas variam de 0,5 e 3,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca da planta. Barros Júnior (2007), estudando as mesmas cultivares, encontrou resposta contrária, com o P decrescendo linearmente com incremento de água disponível.

Os menores teores de P nos tecidos da planta estão também ligados à água de irrigação que continha menos de 5,0 mg L<sup>-1</sup> de P (Tabela 18), inferior à concentração normalmente encontrada nos esgotos, 6,0 a 17,0 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 5).

No substrato de preenchimento dos vasos se aplicaram 300 mg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Trata-se, contudo, de um elemento de baixa solubilidade e mobilidade no solo, sendo pouco absorvido pelas raízes mas, segundo Malavolta (1980), o P absorvido é rapidamente incorporado a compostos orgânicos: 10 minutos depois da absorção, 80 % do P podem ser encontrados como fosfo-hexases e difosfato de uridina; a redistribuição pelo floema é das mais rápidas.

Na cultivar 'Íris' de mamoneira, Lavres Júnior et al. (2005) observaram que no tratamento deficiente em P ocorreu diminuição do seu teor nas partes da planta; no tratamento completo, a maior concentração de P foi observada nas raízes enquanto no tratamento deficiente em P, no limbo superior, conseqüência de redistribuição (MENGEL & KIRKBY, 2001). A concentração média  $2,22 \text{ g kg}^{-1}$ , baixa se comparada aos demais macronutrientes, é indício, ainda assim, de que não houve deficiência nutricional deste nutriente.

Barros Júnior (2007) registrou teor de  $1,30$  e  $1,20 \text{ g kg}^{-1}$  nas raízes das cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu, respectivamente, enquanto para as folhas os teores foram maiores,  $2,43$  e  $2,27 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, resultados relativamente próximos aos verificados na presente pesquisa (Tabela 42). Embora de baixa mobilidade no solo, se infere pelos resultados, que nas duas cultivares o P é bem redistribuído na planta, ao ponto das folhas possuírem maior teor quando comparadas às raízes.

### Potássio nos Tecidos Radiculares e Foliare

Ao se observar os resultados desta variável verifica-se ausência total de efeitos significativos nas raízes (Tabela 42), porém Barros Júnior (2007) notou que o teor de K nas raízes decresceu de forma linear com o aumento da demanda hídrica. O potássio foi o terceiro nutriente absorvido em maior concentração pelas raízes com média igual a  $4,60 \text{ g kg}^{-1}$ ; já as concentrações de potássio nas folhas ( $20,85 \text{ g kg}^{-1}$ , em média ) foram severamente afetadas pelos níveis de reposição da evapotranspiração ( $P < 0,01$ ) com suas médias ajustadas ao modelo linear decrescente (Figura 24C), variando de  $25,46$  em 'Nr<sub>1</sub>' para  $16,24 \text{ g kg}^{-1}$  em 'Nr<sub>5</sub>' (decréscimo de  $36,21 \%$ ). Observa-se, pelo coeficiente de determinação, elevada associação entre a concentração de potássio nas folhas e os níveis de reposição da evapotranspiração. Lembra-se que o conteúdo de potássio no solo também decresceu linearmente,  $23,51 \%$  entre Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub>, (subitem 4.16), guardando correlação com a parte aérea.

Na presente pesquisa a concentração média nas folhas ( $20,85 \text{ g kg}^{-1}$ ), quando confrontada com a concentração ( $17,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) obtida na cultivar 'Íris', com solução completa, por Lavres Júnior et al. (2005), deduz-se que não houve limitação de K. Barros Júnior verificou valores mais elevados ainda  $16,16$  e  $29,25 \text{ g kg}^{-1}$  nas raízes e folhas, respectivamente, sem haver diferença significativa entre as cultivares. Segundo Malavolta, Vitti & Oliveira (1997) e Furlani (2004), os teores adequados de K para um crescimento normal das plantas variam entre  $10$  e  $30 \text{ g kg}^{-1}$ , confirmando que este nutriente não foi limitante para a mamoneira.

Lavres Júnior et al. (2005) notaram que o teor de K, à semelhança do P, diminuiu em todas as partes da planta com a deficiência deste nutriente e, no tratamento completo, houve maior concentração de K no limbo inferior enquanto no tratamento com deficiência a maior concentração foi verificada no limbo superior, o que pode ser explicado pela elevada mobilidade do K na planta, quanto à redistribuição (EPSTEIN, 1975; MENGEL & KIRKBY, 2001).

De acordo com Ferreira et al. (2004), os sintomas da deficiência de potássio se estabelecem a partir dos 30 dias após a emergência, especialmente em plantas que tiveram suspenso o suprimento desse nutriente. As folhas inferiores começam a aparentar uma clorose internerval verde-amarelo-claro, que evolui para clorose nos lóbulos superiores das folhas; esses sintomas não foram observados nas plantas, reforçando que o potássio não foi fator limitante.

### **Cálcio nos Tecidos Radiculares e Foliare**

Dentre os teores de macronutrientes nas raízes o Ca foi o único com regressão quadrática e interação significativa (Tabela 42); Barros Júnior (2007) também verificou regressão quadrática.

O desdobramento da interação está na Tabela 42, na qual se tem menor teor na cultivar BRS Nordestina no nível de reposição da evapotranspiração mais baixo, ao passo que se nota, no nível mais elevado, maior concentração comparada à cultivar BRS Paraguaçu; essa relação está melhor ilustrada na Figura 24D, em que também se observa que a concentração máxima ocorreu quando as plantas foram irrigadas com lâminas de irrigação correspondentes a 90 % da evapotranspiração e, ainda, que a média é da ordem de  $5,54 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria seca radicular. Por outro lado, Barros Júnior (2007) observou menor teor de cálcio nas raízes de plantas irrigadas com o nível de 90 % AD.

O teor de cálcio na folha, maior que nas raízes, foi melhor ajustado à regressão cúbica (Figura 24D); entretanto com uma análise mais detalhada desta figura, observam-se pequenas variações até o quarto nível de reposição, sobretudo se comparadas com a média,  $9,22 \text{ g kg}^{-1}$ . Como já foi relatado, o Ca foi o nutriente mais aportado pelo efluente de esgoto ( $56,10 \text{ mg L}^{-1}$ ). Segundo Malavolta, Vitti & Oliveira (1997) e Furlani (2004), a planta deficiente possui teor de Ca menor que  $4 \text{ g kg}^{-1}$ . Ainda segundo esses autores, as concentrações adequadas para um crescimento normal das plantas variam entre 10 e  $50 \text{ g kg}^{-1}$ , portanto o Ca não foi limitante para a mamoneira.

Igual aos nutrientes anteriores, a concentração de cálcio nas duas partes da planta não variou entre as duas cultivares (Tabela 42). Barros Júnior (2007) também verificou maiores teores nas folhas que nas raízes; contudo, as concentrações observadas (acima de  $32,00 \text{ g kg}^{-1}$ ) foram superiores às mencionadas no corrente estudo, reforçando a hipótese de que o aporte de nutrientes da água residuária não foi suficiente para nutrir a planta de forma adequada. Uma vez, conforme referido anteriormente, observou-se diminuição marcante da disponibilidade de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  em relação a condição inicial, atribuída à elevada concentração de carbonato ( $40,80 \text{ mg L}^{-1}$ , correspondente a  $1,36 \text{ mmolc L}^{-1}$ ) e, sobretudo, bicarbonato ( $478,75 \text{ mg L}^{-1}$ , cerca de  $7,85 \text{ mmolc L}^{-1}$ ), que causam a precipitação de  $\text{Ca}^{+2}$ .

Lavres Júnior et al. (2005) registraram, em pesquisa com a mamoneira, redução no teor de Ca nas partes da planta quando em deficiência, comparado ao tratamento completo. Tanto no tratamento completo como no tratamento com deficiência em Ca, o maior teor do nutriente ocorreu no limbo inferior, indicação da baixa mobilidade desse nutriente na planta (EPSTEIN, 1975; MENGEL & KIRKBY, 2001).

### **Magnésio nos Tecidos Radiculares e Foliare**

A concentração média de magnésio nos tecidos radiculares e foliares da mamoneira foi de  $2,08$  e  $5,84 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente. Segundo Malavolta, Vitti & Oliveira (1997) e Furlani (2004), os teores adequados de Mg para um crescimento normal das plantas variam entre  $3$  e  $5 \text{ g kg}^{-1}$  e as plantas deficientes possuem teores foliares menores que  $3 \text{ g kg}^{-1}$ . Portanto, o Mg também não foi limitante. Barros Júnior (2007) verificou teores médios de  $2,38$  e  $3,63 \text{ g kg}^{-1}$  para os mesmos tecidos e cultivares sendo que nas raízes, embora com concentração inferior, ocorreu diminuição com o incremento do nível de água disponível. Nesta pesquisa, porém, observou-se regressão cúbica para a concentração nas raízes com aumento até o nível de  $105\%$  da ETc ( $2,34 \text{ g kg}^{-1}$ ) com redução a partir desse nível, de modo que sob  $120\%$  da ETc, se obteve  $2,14 \text{ g kg}^{-1}$ , segundo equação de regressão (Figura 24E).

Tem-se no tocante às folhas, pela Tabela 42, ausência de efeito significativo dos níveis de reposição sobre esta variável e entre as cultivares, porém se verificou interação significativa, de modo que no desdobramento apresentado na Tabela 43, o comportamento foi cúbico na cultivar BRS Nordestina e quadrático na BRS Paraguaçu, cujos modelos matemáticos estão apresentados na Figura 24E.

A média da cultivar BRS Paraguaçu ( $6,92 \text{ g kg}^{-1}$ ) foi significativamente maior que a média da BRS Nordestina ( $4,6 \text{ g kg}^{-1}$ ) dentro do nível 2 ( $0,75 \text{ ETc}$ ), o que está caracterizado pela distância entre os pontos plotados na Figura 24E; a partir deste nível segue

a tendência de equilíbrio entre as duas cultivares. Barros Júnior (2007) também encontrou maior teor médio nas folhas da cultivar BRS Paraguaçu ( $3,90 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação à BRS Nordestina ( $3,36 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Lavres Júnior et al. (2005) observaram que os teores de Mg nas plantas do tratamento 'com deficiência' foram inferiores aos do 'completo', porém no tratamento deficiente em Mg houve maior concentração deste elemento no caule e nas raízes, diferindo significativamente das demais partes, enquanto, em boas condições de nutrição (tratamento completo) o teor de magnésio não diferiu significativamente entre as diferentes partes da planta, raízes ( $6,60 \text{ g kg}^{-1}$ ) e limbo superior ( $6,70 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Verifica-se, porém, na presente pesquisa, que a concentração deste nutriente nas folhas ( $5,84 \text{ g kg}^{-1}$ ) foi bem superior à das raízes ( $2,08 \text{ g kg}^{-1}$ ), denotando excelente redistribuição de magnésio das raízes para a parte aérea. Salienta-se que boa parte desta concentração é devida à água de esgoto, que continha valores na ordem de  $39,04 \text{ mg L}^{-1}$ .

### **Enxofre nos Tecidos Radiculares e Foliare**

Ao contrário do que foi verificado com 'N', 'P' e 'Mg', o manejo das irrigações com água residuária levou à redução na concentração de enxofre nas raízes; tendo ocorrido baixo armazenamento de 'S' nas raízes (teor médio de  $1,81 \text{ g kg}^{-1}$ ), porém maior que o teor médio de 'P' ( $1,65 \text{ g kg}^{-1}$ ). Nas folhas, se observaram maiores concentrações dentro de todos os níveis de reposição da evapotranspiração ( $6,96 \text{ g de S por kg}$ , em média). Segundo Dechen & Nachtigall (2007), os teores adequados de S nas plantas variam entre 1 e  $10 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria seca, considerando-se teores entre 3 e  $5 \text{ g kg}^{-1}$  como adequados para um crescimento normal das plantas. Diante dos resultados obtidos, deduz-se que o S, ao lado de P, K, Ca e Mg, não foram limitantes para a mamoneira.

Com base nos modelos matemáticos apresentados na Figura 24F, os decréscimos verificados no teor de enxofre nas folhas e nas raízes entre  $Nr_1$  (60 % da evapotranspiração) e  $Nr_5$  (120 % ETc) foram de 40,65 e 19,65 %, respectivamente.

As raízes das plantas mantidas sob maior déficit hídrico (0,60 ETc) contiveram em média  $2,00 \text{ g kg}^{-1}$ , enquanto com nível mais alto (1,20 ETc) a média foi  $1,62 \text{ g kg}^{-1}$ . Lavres Júnior et al. (2005) observaram, na cultivar 'Íris', concentrações médias nas raízes de  $3,00 \text{ g kg}^{-1}$  (no tratamento com deficiência) e  $3,30 \text{ g kg}^{-1}$  (no tratamento completo), maiores que a estimada na presente pesquisa,  $1,81 \text{ g kg}^{-1}$ , denotando baixa concentração.

Lavres Júnior et al. (2005) notaram maior concentração de S no limbo inferior, tanto no tratamento com deficiência ( $3,40 \text{ g kg}^{-1}$ ) como no tratamento completo ( $4,40 \text{ g kg}^{-1}$ ),

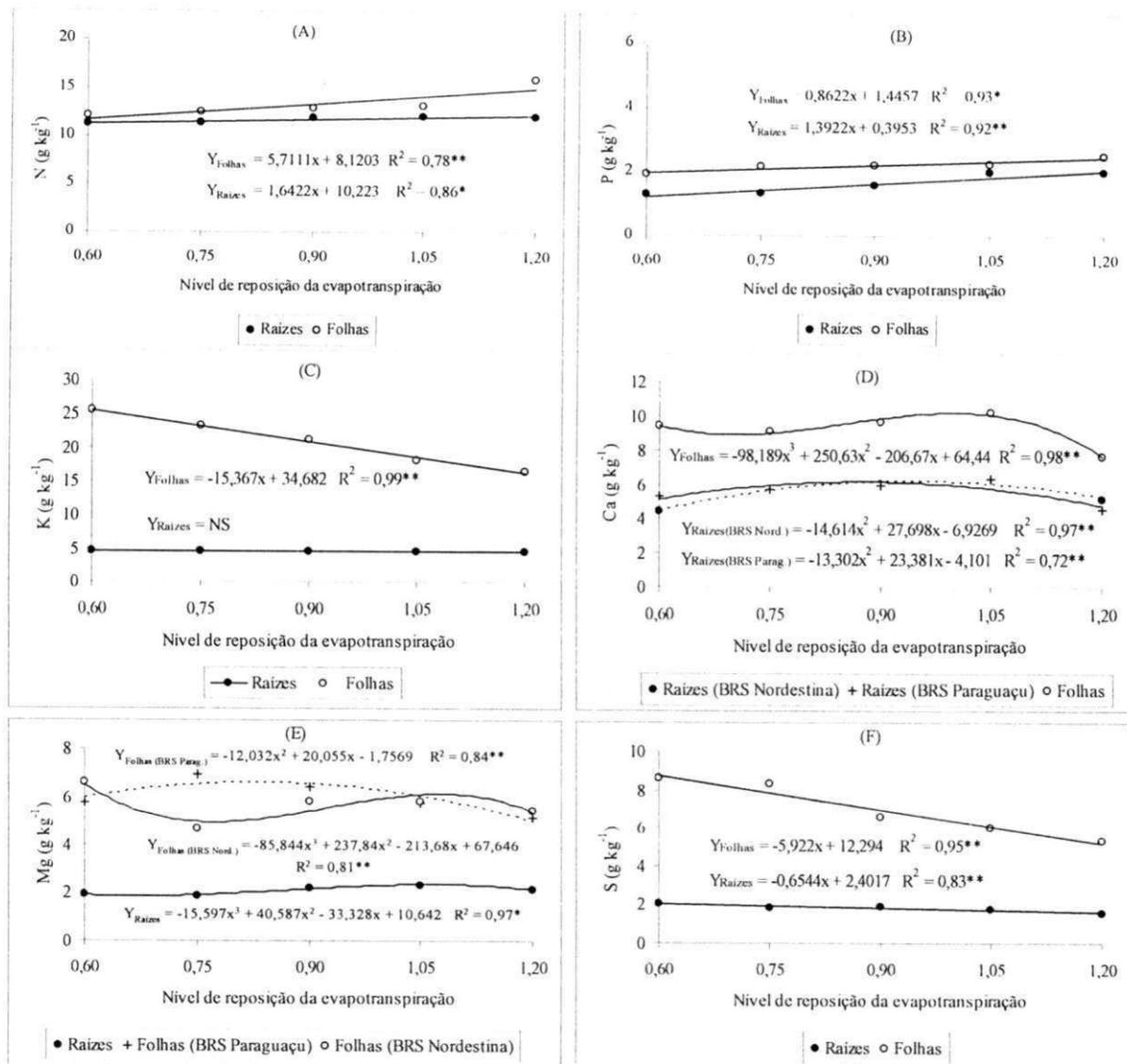
com diferença significativa para as demais partes. No que diz respeito às folhas, os valores registrados para S no presente trabalho ( $6,96 \text{ g kg}^{-1}$ , em média) foram superiores aos relatados por esses autores, diferente do que se observou nas raízes.

O teor médio de S nas folhas da cultivar BRS Nordestina foi levemente superior ao teor da BRS Paraguaçu, embora sem haver diferença significativa; não se observou interação significativa para o teor de enxofre (Tabela 42).

**Tabela 42** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para macronutrientes (N-P-K-Ca-Mg-S) nos tecidos radiculares e foliares, aos 174 dias após a semeadura. Campina Grande – PB, 2006

F. de Variação	GL	Quadrados Médios					
		N-Raízes	N-Folhas	P-Raízes	P-Folhas	K-Raízes	K-Folhas
Nív. Repos. (Nr)	4	3,7910 <sup>NS</sup>	<b>14,0956*</b>	<b>0,70737**</b>	<b>0,489283*</b>	0,0012 <sup>NS</sup>	<b>77,232167**</b>
Regr. Linear	1	<b>6,7067*</b>	<b>44,033**</b>	<b>2,79260**</b>	<b>1,5585*</b>	0,0019 <sup>NS</sup>	<b>215,64817**</b>
Regr. Quadr.	1	0,0012 <sup>NS</sup>	8,4233 <sup>NS</sup>	0,00309 <sup>NS</sup>	0,190476 <sup>NS</sup>	0,0006 <sup>NS</sup>	34,585833 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	3,3939 <sup>NS</sup>	3,5770 <sup>NS</sup>	0,00120 <sup>NS</sup>	0,0707 <sup>NS</sup>	0,0013 <sup>NS</sup>	32,4135 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	5,0622 <sup>NS</sup>	0,3492 <sup>NS</sup>	0,03259 <sup>NS</sup>	0,1375 <sup>NS</sup>	0,0010 <sup>NS</sup>	26,2812 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,9378 <sup>NS</sup>	1,0899 <sup>NS</sup>	0,033853 <sup>NS</sup>	0,103043 <sup>NS</sup>	0,0009 <sup>NS</sup>	41,617333 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	0,1512 <sup>NS</sup>	13,4001 <sup>NS</sup>	0,00027 <sup>NS</sup>	0,137363 <sup>NS</sup>	0,0008 <sup>NS</sup>	45,018750 <sup>NS</sup>
Inter. (Nr x Cv)	4	0,6404 <sup>NS</sup>	4,0515 <sup>NS</sup>	0,04844 <sup>NS</sup>	0,192813 <sup>NS</sup>	0,00010 <sup>NS</sup>	10,004167 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	1,4344	4,1855	0,022164	0,162454	0,0040	11,827148
CV(%)	-	10,23	15,43	9,03	18,14	1,37	16,49
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
BRS Paraguaçu		11,774	13,9287	1,6513	2,2893	4,6120	19,6267
BRS Nordestina		11,632	12,5920	1,6453	2,1540	4,5880	22,0767
DMS		0,91877	1,5695	0,1142	0,3092	1,9052	2,6383
F. de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Ca-Raízes	Ca-Folhas	Mg-Raízes	Mg-Folhas	S-Raízes	S-Folhas
Nív. Repôs. (Nr)	4	<b>2,465013**</b>	<b>5,596695*</b>	<b>0,22715**</b>	0,759095 <sup>NS</sup>	<b>0,1738**</b>	<b>12,4145**</b>
Regr. Linear	1	0,233127 <sup>NS</sup>	3,611307 <sup>NS</sup>	<b>0,54531**</b>	1,844507 <sup>NS</sup>	<b>0,5782**</b>	<b>45,8884**</b>
Regr. Quadr.	1	<b>8,284576**</b>	<b>8,911543*</b>	0,09874 <sup>NS</sup>	0,378686 <sup>NS</sup>	0,0425 <sup>NS</sup>	0,7486 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	<b>0,932507**</b>	<b>9,4883*</b>	<b>0,23940*</b>	0,461127 <sup>NS</sup>	0,0465 <sup>NS</sup>	2,5420 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,40984 <sup>NS</sup>	0,3756 <sup>NS</sup>	0,02514 <sup>NS</sup>	0,352061 <sup>NS</sup>	0,0280 <sup>NS</sup>	0,4790 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,060763 <sup>NS</sup>	1,357030 <sup>NS</sup>	0,04769 <sup>NS</sup>	1,009143 <sup>NS</sup>	0,0126 <sup>NS</sup>	1,2073 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	0,028830 <sup>NS</sup>	0,266963 <sup>NS</sup>	0,00033 <sup>NS</sup>	0,816750 <sup>NS</sup>	0,0145 <sup>NS</sup>	3,72416 <sup>NS</sup>
Interaç. (Nr x Cv)	4	<b>0,416147*</b> (Tabela 43)	3,574905 <sup>NS</sup>	0,08135 <sup>NS</sup>	<b>2,155792*</b> (Tabela 43)	0,0268 <sup>NS</sup>	0,40327 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,113019	1,667078	0,05034	0,509851	0,0253	0,88091
CV(%)	-	6,07	14,00	10,77	12,23	8,78	13,48
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
BRS Paraguaçu		5,5687	9,3173	2,0800	6,0053	1,8347	6,6120
BRS Nordestina		5,5067	9,1287	2,0867	5,6753	1,7907	7,3167
DMS		0,2579	0,9905	0,1721	0,5477	0,1221	0,7200

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F



**Figura 24** – Teor de macronutrientes nos tecidos radiculares e foliares da mamoneira, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

**Tabela 43** - Desdobramento das interações significativas e médias das cultivares para o teor de Ca<sup>++</sup> nas raízes e teor de Mg<sup>++</sup> nas folhas. Campina Grande – PB, 2006

Fonte de Variação	Quadrados Médios	
	Ca-Raízes	Mg-Folhas
<b>Nr em Cv<sub>1</sub></b>		
Reg. Linear	1,310430**	0,365203 <sup>NS</sup>
Reg. Quadrática	4,540860**	0,781736 <sup>NS</sup>
Reg. Cúbica	0,079053 <sup>NS</sup>	3,626163*
Regr. 4º Grau	0,105190 <sup>NS</sup>	1,133738 <sup>NS</sup>
<b>Nr em Cv<sub>2</sub></b>		
Reg. Linear	0,21336 <sup>NS</sup>	1,732803 <sup>NS</sup>
Reg. Quadrática	3,7620**	3,078021*
Reg. Cúbica	1,1761**	0,890963 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	0,3376 <sup>NS</sup>	0,050919 <sup>NS</sup>
Resíduo	0,007771	0,018211
<b>Cv em Nr</b>	<b>Médias (g kg<sup>-1</sup>)</b>	
<b>Cv em Nr<sub>1</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	4,460000 <b>b</b>	6,590000
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	5,296667 <b>a</b>	5,756667
<b>Cv em Nr<sub>2</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	5,613333	4,660000 <b>b</b>
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	5,716667	6,923333 <b>a</b>
<b>Cv em Nr<sub>3</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	6,030000	5,843333
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	5,926667	6,453333
<b>Cv em Nr<sub>4</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	6,236667	5,830000
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	6,340000	5,753333
<b>Cv em Nr<sub>5</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : Nordeste	5,193333 <b>a</b>	5,453333
Cv <sub>2</sub> : Paraguaçu	4,563333 <b>b</b>	5,140000
DMS	0,576686	1,224858

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey

#### 4.18 – Teores de Micronutrientes e Sódio nos Tecidos Radiculares e Foliareos

Com base nos resumos das análises de variância, houve efeitos significativos dos níveis de reposição da evapotranspiração sobre os teores de Cl, Fe, Cu, Mn e Na nas raízes da mamoneira e sobre os teores de Cl, Fe, Zn, Cu, Mn e Na nas folhas, aos níveis de 0,01 e 0,05 de probabilidade, pelo teste F. Portanto, os efeitos dos níveis de regressão só não foram significativos para o Zn nas raízes das plantas. Os efeitos das cultivares foram significativos para o Cl, Fe, Zn, Cu, Mn e Na nas raízes e sobre o Na nas folhas, sendo os teores na cultivar BRS Nordeste significativamente maiores que na cultivar BRS Paraguaçu (Tabela 44). Houve interação significativa (Nr x Cv) tão somente para o Na nas raízes, indicação de magnitudes diferentes nos tecidos radiculares das cultivares (Cv) e dependente dos níveis de

reposição de água no solo (Nr). Verificou-se a seguinte marcha de absorção de nutrientes pelas raízes: Fe>Mn>Zn>Cl>Cu>Na (3837>80,86>24,33>12,83>8,05>7,45 mg kg<sup>-1</sup>).

Pela Tabela 44, e com base nas médias observadas, a ordem de concentração nas folhas foi Fe>Mn>Cl>Zn>Cu>Na (313,93>91,11>18,91>15,75>3,86>2,25 mg kg<sup>-1</sup>), semelhante à observada para as raízes e, pela Figura 25, deduz-se que as médias de Fe, Zn, Cu e Na, foram maiores nas raízes, enquanto as médias de Cl e Mn foram maiores nas folhas.

Segundo Lange et al. (2005), tanto as folhas superiores como as inferiores da mamoneira refletem o estado nutricional da mamoneira em relação aos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn; ainda de acordo com os autores, os sintomas se desenvolvem primeiro em plantas deficientes em Fe ou Mn, seguidas das deficientes em B. Pressupõe-se que no presente trabalho, não houve carência dos micronutrientes Fe e Mn, uma vez que ambos foram encontrados em altos teores nas duas partes da planta.

### Cloro nos Tecidos Radiculares e Foliareos

Os dados referentes ao cloro, das duas partes da planta, se ajustaram ao modelo linear de regressão decrescente (Figura 25A). Os teores de Cl nas raízes e nas folhas decresceram com o aumento do nível de reposição de água residual. Os decréscimos entre Nr<sub>1</sub> e Nr<sub>5</sub> foram de 50,66 e 43,07 %, nas raízes e folhas, respectivamente, com maior teor nas folhas (18,91 mg kg<sup>-1</sup>, em média) que nas raízes (12,83 mg kg<sup>-1</sup>). Os teores de Cl nas plantas variam de 70 a 1000 mg kg<sup>-1</sup> (FURLANI, 2004) e segundo Dechen & Nachtigall (2007), as plantas deficientes contêm teores foliares menores que 2 mg kg<sup>-1</sup>, denotando que os teores de Cl obtidos nesta pesquisa, não foram limitantes para a mamoneira, nem por deficiência e nem por excesso.

Os tecidos de raízes da cultivar BRS Nordestina contiveram mais cloro, sendo 10,86 % maior em relação aos tecidos da BRS Paraguaçu; o mesmo não foi verificado nas folhas. Barros Júnior (2007) encontrou efeito quadrático como resposta aos níveis crescentes de água disponível e médias de 11,76 e 7,95 mg kg<sup>-1</sup> nas folhas e nas raízes, respectivamente (inferiores às registradas nesta pesquisa), sem, no entanto, verificar diferença significativa entre as cultivares testadas; os maiores teores registrados na presente pesquisa se devem à água residual. De acordo com a Tabela 18, o cloro com 197,28 mg L<sup>-1</sup> (cerca de 5,56 mmol L<sup>-1</sup>) de risco moderado (AYERS & WESTCOT, 1999) foi o micronutriente mais aportado pela água de irrigação; entretanto como já relatado, seus teores nas raízes e nas folhas foram menores que os teores de Fe e Mn.

### Ferro nos Tecidos Radiculares e Foliare

Por razões desconhecidas neste experimento, verificou-se concentração elevadíssima desse micronutriente, tendo como média geral cerca de 3837 e 313 mg kg<sup>-1</sup>, nas raízes e limbo foliar, respectivamente. Deve-se considerar que o conteúdo de Fe era relativamente baixo na água de irrigação (2,45 mg L<sup>-1</sup>, Tabela 18) quando comparado com o limite permitido (5,00 mg L<sup>-1</sup>, Tabela 12). Segundo Malavolta, Vitti & Oliveira (1997) e Furlani (2004), as plantas deficientes possuem teores foliares menores que 10 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto acima de 80 mg kg<sup>-1</sup>, podem-se observar sintomas de toxidez. Por outro lado, Dechen & Nachtgall (2007) afirmam que os teores de ferro nas plantas variam de 10 a 1500 mg kg<sup>-1</sup>, dependendo da parte da planta. Nesse caso, houve fixação excessiva desse nutriente nas raízes da mamoneira.

Paulo et al. (1989) em estudos de nutrição da mamoneira observaram teores de Fe nas folhas, na ordem de 67 mg kg<sup>-1</sup>, em plantas sem deficiência, muito inferiores aos registrados nesta pesquisa.

De acordo com a equação linear (Figura 25B), o teor de Fe nas raízes foi diminuído de 3911 a 3717 mg kg<sup>-1</sup>, de Nr<sub>1</sub> a Nr<sub>5</sub>, respectivamente. Barros Júnior (2007), utilizando-se de água de abastecimento público verificou, nas raízes de mamoneira, resultados contrários com incremento linear nos teores de ferro, com o aumento da disponibilidade hídrica.

Conforme a Tabela 44, houve significância do fator 'Nr' sobre a concentração de ferro nas folhas; entretanto, mediante análise de regressão, tal efeito não foi confirmado. O teor médio de ferro nas raízes da cultivar BRS Nordestina foi significativamente maior (3,54 %) em relação à BRS Paraguaçu.

Pela Figura 25B observa-se grande diferença entre as concentrações das duas partes da planta. Barros Júnior (2007) também verificou grandes diferenças entre as duas partes da planta, ao registrar média de 181,70 e 184,58 mg kg<sup>-1</sup> nas folhas e cerca de 1082 e 777 mg kg<sup>-1</sup> nas raízes das cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu, respectivamente.

Segundo Lange et al. (2005), as folhas jovens deficientes em Fe têm crescimento reduzido, clorose internerval com aparência de reticulado fino, ou seja, nervuras com coloração verde-escuro, enquanto o restante do limbo foliar se torna amarelado. Para os pesquisadores Malavolta, Vitti & Oliveira (1997), a clorose provocada pela deficiência de Fe é causada, provavelmente, pela baixa produção de clorofila entretanto, no presente trabalho, não se observaram sintomas visuais de deficiência de ferro, uma vez que nos tecidos foliares se encontraram teores elevados.

### Zinco nos Tecidos Radiculares e Foliare

Não se observou influência dos níveis de reposição da evapotranspiração sobre o teor de zinco nas raízes, ao passo que nas folhas se verificou efeito linear significativo, havendo redução deste nutriente com o incremento do nível de reposição da evapotranspiração. A concentração nos tecidos radiculares da cultivar BRS Nordestina superou a BRS Paraguaçu em 14,28 % diferindo estatisticamente. No que diz respeito à concentração de zinco nas folhas, não se constatou diferença significativa entre as duas cultivares (Tabela 44).

A concentração de Zn na água de esgoto ( $0,013 \text{ mg L}^{-1}$ , Tabela 18) se mantinha bem abaixo do limite máximo aceitável ( $2,00 \text{ mg L}^{-1}$ , Tabela 12). A concentração média de zinco observada nas raízes e nas folhas foi de  $24,33$  e  $15,75 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente; cuja diferença está bem ilustrada na Figura 25C. De acordo com a equação de regressão houve um acréscimo de 41,46 % no teor de Zn nas folhas, em 'Nr<sub>5</sub>' comparado a 'Nr<sub>1</sub>'. Barros Júnior (2007) também verificou incremento na concentração de Zn foliar na medida em que se tinha maior disponibilidade de água no solo. Segundo Malavolta, Vitti & Oliveira (1997) e Furlani (2004), as plantas deficientes possuem teores foliares inferiores a  $25 \text{ mg kg}^{-1}$ . Nesse caso, houve carência desse nutriente nas folhas da mamoneira.

A concentração de Zn foliar foi relativamente baixa, considerando-se que os teores foliares de Zn variam de  $14 \text{ mg kg}^{-1}$ , em mamoneiras desenvolvidas em solo de baixa fertilidade (HOCKING, 1982), a  $43 \text{ mg kg}^{-1}$ , em solo fértil (SOUZA & NATALIE, 1997). Oliveira (2004) considera adequados teores de Zn no limbo, entre  $15$  e  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ , comprovado por Lange et al. (2005) que observaram teor médio ainda menores,  $9,0 \text{ mg kg}^{-1}$  nas folhas da cultivar 'Iris' sem deficiência.

Barros Júnior (2007) observou, ao final de sua pesquisa (180 DAS), maiores teores desse micronutriente em relação a esta pesquisa, com maior teor de Zn nas folhas ( $158,47 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em relação às raízes ( $30,55 \text{ mg kg}^{-1}$ ), contrastando com os resultados registrados neste trabalho,  $15,75$  e  $24,33 \text{ mg kg}^{-1}$ .

### Cobre nos Tecidos Radiculares e Foliare

Em referência aos teores de cobre nas raízes, os fatores nível de reposição da evapotranspiração e cultivar foram significativos, sem ter havido efeito de interação entre os dois; verificou-se maior teor nas raízes da cultivar BRS Nordestina (Tabela 44).

De forma análoga aos dados do zinco, os dados de cobre nas folhas também se ajustaram à regressão linear crescente (Figura 25D), mas com maior incremento, 64,59 %

entre as plantas mantidas com o mais baixo nível de água e aquelas com o mais elevado. Barros Júnior (2007), testando níveis de 40 a 100 % de água disponível, verificou comportamento inverso para esses micronutrientes, com reduções lineares de 0,27 e 1,49 mg kg<sup>-1</sup> em zinco e cobre, respectivamente, para cada incremento unitário do percentual de água disponível.

Visualiza-se, na Figura 25D, que os teores de cobre nas raízes (8,05 mg kg<sup>-1</sup>, em média) foram superiores aos teores nas folhas (3,86 mg kg<sup>-1</sup>, em média); entretanto, em plantas sadias de mamoneira, desenvolvidas em condições de campo, Paulo et al. (1989) observaram maior concentração de cobre nas folhas, 7,80 mg kg<sup>-1</sup>. Por outro lado, Lange et al. (2005) afirmaram que os teores nas folhas da cultivar 'Iris' variaram de 4,0 mg kg<sup>-1</sup> nas folhas inferiores a 6,0 mg kg<sup>-1</sup> nas folhas superiores em plantas sem deficiência, denotando que o teor médio nas folhas (3,86 mg kg<sup>-1</sup>) verificado nesta pesquisa, foi baixo. Também segundo Malavolta, Vitti & Oliveira (1997) e Furlani (2004), as plantas deficientes possuem teores foliares menores que 4 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto acima de 20 mg kg<sup>-1</sup>, podem-se observar sintomas de toxidez.

Embora os dados dos teores nas raízes se tenham ajustados à regressão cúbica, ocorreu equivalência dos teores de cobre sob Nr<sub>1</sub>, Nr<sub>3</sub> e Nr<sub>5</sub> e, esses valores giram em torno da média geral (8,05 mg kg<sup>-1</sup>); no entanto, com o nível de 105 % ETc, se estima 10,17 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 25D).

Conforme Barros Júnior (2007), ao contrário desta pesquisa, há maiores concentrações nas folhas (732,16 mg kg<sup>-1</sup>, em média) quando comparadas com as concentrações nas raízes (23,48 mg kg<sup>-1</sup>, em média). Nesta pesquisa, o autor realizou seis adubações com micronutrientes, além de oito pulverizações foliares (Zn+Cu), o que justifica os registros de teores intensamente maiores.

Na presente pesquisa os baixos teores de zinco e cobre nas folhas são devidas, provavelmente, à baixa mobilidade desses nutrientes na planta. Durante a condução experimental foram realizadas pulverizações foliares com solução contendo Zn+Cu (1,0 a 4,0 mMol de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O + ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) diluída na proporção de 2 mL L<sup>-1</sup> com o intuito de suprir a deficiência dos dois micronutrientes, sobretudo na cultivar BRS Paraguaçu, cultivar sensível (Figura 26). A concentração de cobre na água de esgoto doméstico, se encontrava baixíssima (0,005 mg L<sup>-1</sup>, Tabela 18), muito aquém do limite máximo aceitável (0,20 mg L<sup>-1</sup>, Tabela 12).

### **Manganês nos Tecidos Radiculares e Foliares**

Depois do ferro, o manganês foi o segundo elemento mais concentrado tanto no sistema radicular ( $80,86 \text{ mg kg}^{-1}$ ) como nas folhas ( $91,11 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Barros Júnior (2007) obteve nas folhas, por razões desconhecidas, valores médios de Mn acima de  $4000 \text{ mg kg}^{-1}$  enquanto nas raízes os teores variaram entre 100 e  $200 \text{ mg kg}^{-1}$ . Segundo Malavolta, Vitti & Oliveira (1997) e Furlani (2004), em muitas plantas, as folhas com sintomas de deficiência possuem teores foliares menores que  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto teores acima de  $700 \text{ mg kg}^{-1}$ , são considerados tóxicos, enquanto Dechen & Nachtgall (2007) consideram teores entre 20 e  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  como adequados para o crescimento normal das plantas.

Verificou-se, similar ao cloro e ferro, efeito significativo com decréscimo linear no teor de Mn nas raízes (Figura 25E). Com base no modelo matemático, o decréscimo verificado no teor de Mn das raízes entre  $Nr_1$  (60 % ETc) e  $Nr_5$  (120 % ETc) foi de 16,0 %.

Foi quadrática a relação entre o teor de manganês no limbo foliar e os níveis de reposição, sendo a maior concentração nas plantas irrigadas com 90 % da evapotranspiração (Figura 25E), portanto houve aumento do teor de Mn com o incremento dos níveis de reposição até 0,90 ETc, ocorrendo redução a partir daí. Observa-se, nesta figura, que o teor de manganês nas folhas só foi inferior ao teor nas raízes no nível mais baixo de reposição da evapotranspiração.

Paulo et al. (1989) observaram teor de Mn nas folhas de  $272 \text{ mg kg}^{-1}$  em plantas sadias de mamoneira desenvolvidas em solo, muito acima do verificado nesta pesquisa ( $91,11 \text{ mg kg}^{-1}$ ), porém Lange et al. (2005) observaram nas plantas com suprimento adequado, teores bem inferiores ao registrarem concentração média de  $27,00 \text{ mg kg}^{-1}$  desse micronutriente.

O teor médio de manganês no sistema radicular foi significativamente maior na cultivar BRS Nordestina ( $86,26 \text{ mg L}^{-1}$ ) em relação à cultivar BRS Paraguaçu ( $75,46 \text{ mg L}^{-1}$ ); o mesmo não se observou nas folhas (Tabela 44).

A concentração de manganês na água de irrigação ( $0,10 \text{ mg L}^{-1}$ ) se mantinha dentro dos padrões, bem inferior ao limite de fitotoxicidade ( $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ ). Segundo Malavolta, Vitti & Oliveira (1997), a omissão de Mn pode aumentar a absorção de Fe o que, no entanto, não foi observado visto que tais micronutrientes foram os mais concentrados nos tecidos das plantas.

### Sódio nos Tecidos Radiculares e Foliare

O resumo da análise estatística para o Na nas raízes está apresentado na Tabela 44 em que verificam-se efeitos do fator quantitativo (níveis de reposição da evapotranspiração) e qualitativo (cultivar) além de interação Nr x Cv.

Na Tabela 45 consta o desdobramento referente ao sódio nas raízes, em que a cultivar BRS Nordestina supera a BRS Paraguaçu dentro do nível mais baixo (0,60 ETc); também na Figura 25F, esta diferença é melhor observada.

A concentração de sódio no sistema radicular da cultivar BRS Nordestina variou entre 9,60 e 5,97 mg kg<sup>-1</sup> (37,82 %), enquanto na BRS Paraguaçu a variação foi de 8,07 para 5,68 mg kg<sup>-1</sup> (29,62 %) tendo, portanto, menor variação. A Figura 25F ilustra bem o comportamento diferenciado das duas cultivares, em função das lâminas de irrigação.

Quanto à concentração nas folhas, observa-se na Tabela 44, que os níveis de reposição afetaram significativamente a concentração de sódio. Pelas médias apresentadas na Figura 25F, a concentração de sódio decresceu linearmente com o incremento dos níveis de reposição, de modo que houve um decréscimo de 64,88 % nas folhas das plantas submetidas a condição mais estressante (0,60 ETc) e aquelas irrigadas com 1,20 ETc. Verifica-se que os teores de Na foram mais acentuados nas raízes do que nas folhas.

Em termos de média geral, a concentração de Na foi maior, tanto nas raízes como nas folhas da cultivar BRS Nordestina, em relação à BRS Paraguaçu (Tabela 44). Barros Júnior (2007) não verificou comportamento diferenciado entre as cultivares, no entanto quanto aos efeitos do fator quantitativo, níveis crescentes de água disponível, houve redução linear no teor de sódio nas folhas, tal como nesta pesquisa; entretanto, nas raízes o autor obteve incremento linear de Na com o aumento da demanda hídrica.

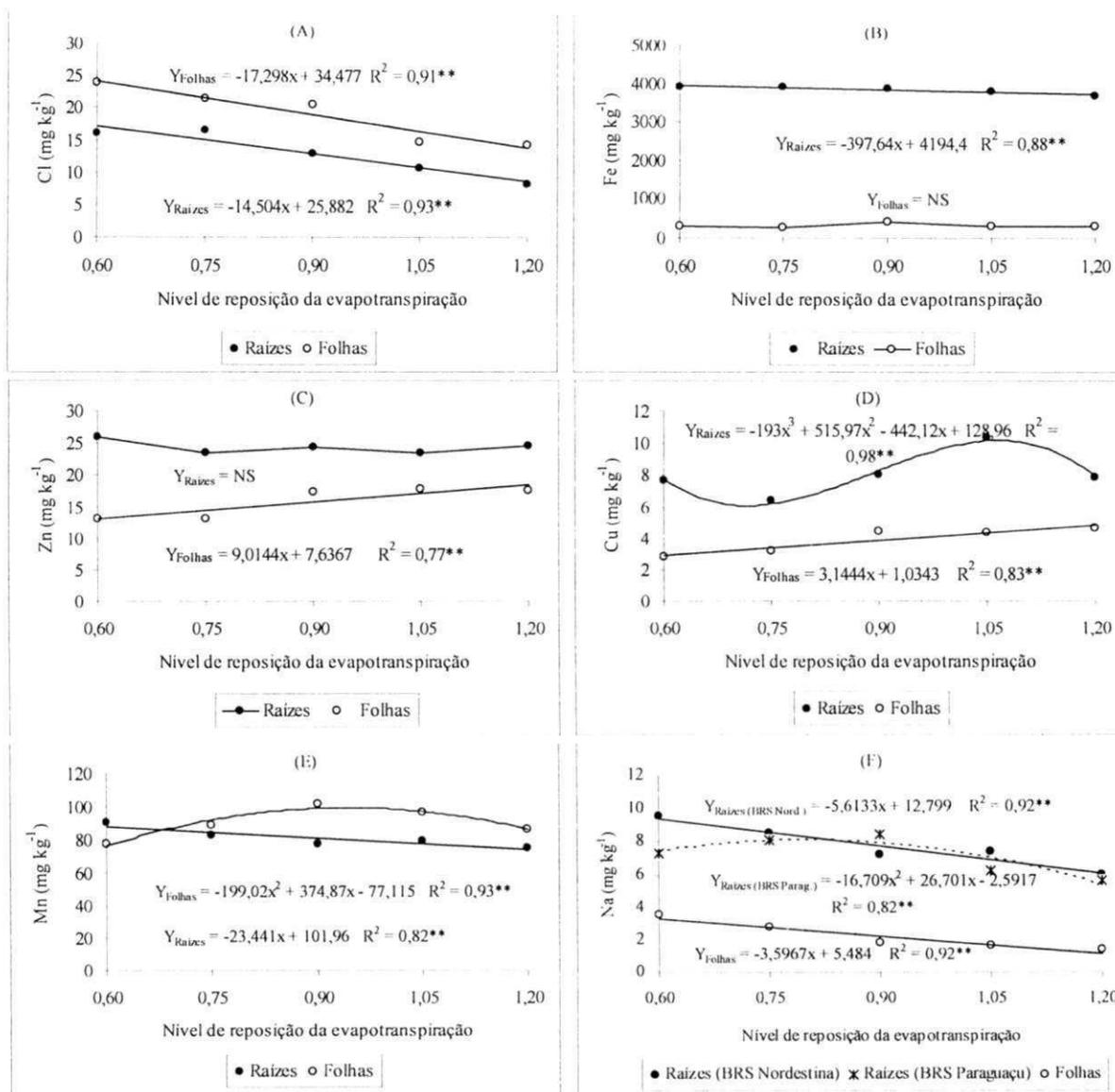
Embora o sódio tenha sido o segundo elemento mais concentrado na água de irrigação, 141,80 mg L<sup>-1</sup> em média (cerca de 6,17 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) com RAS de 3,55 (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup>, de risco moderado, foi o menos concentrado nas raízes (média de 7,45 mg kg<sup>-1</sup>) tal como nas folhas (2,25 mg kg<sup>-1</sup>). Provavelmente a planta da mamoneira tem capacidade seletiva, excluindo o íon Na<sup>+</sup>; por outro lado, a concentração de sódio na água de irrigação está dentro da faixa normalmente encontrada nos efluentes de esgoto (50 a 250 mg L<sup>-1</sup>, Tabela 5). Não foram observados problemas de toxidez às plantas. Segundo Furlani (2004), o Na ao lado dos elementos Si, Se e Co são classificados como elementos benéficos. Segundo Novais et al. (2007), o Na é requerido para o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) e pela maioria das espécies que utilizam a via metabólica C4. Muitas espécies C3 se beneficiam também de concentrações baixas de Na. O Na estimula o crescimento por meio do alongamento celular e

pode substituir o K como um soluto osmoticamente ativo. Quanto à tolerância a este elemento, as plantas se dividem em natrófilicas e natrófobicas. Pelos resultados, provavelmente a mamoneira é uma planta natrófóbica.

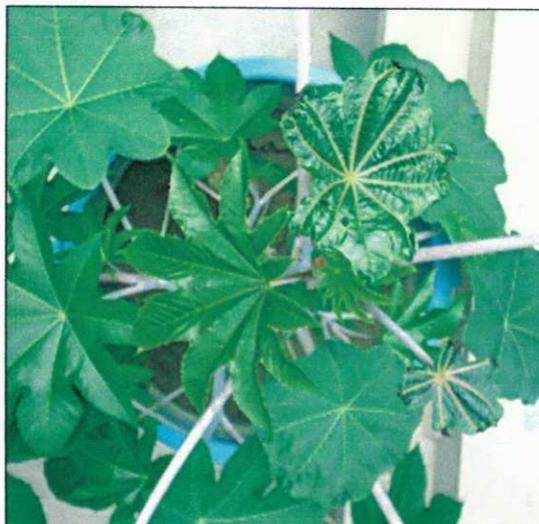
**Tabela 44** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para micronutrientes e sódio (Cl-Fe-Zn-Cu-Mn-Na) de tecidos radiculares e foliares aos 174 dias após a semeadura. Campina Grande – PB, 2006

F. de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Cl-Raízes	Cl-Folhas	Fe-Raízes	Fe-Folhas	Zn-Raízes	Zn-Folhas
Nível repos. (Nr)	4	76,107**	110,398**	60438,947 <sup>NS</sup>	17527,47*	6,0016 <sup>NS</sup>	35,73769**
Regr. Linear	1	284,01**	403,938**	213456,33*	20072,28 <sup>NS</sup>	3,5575 <sup>NS</sup>	109,70128**
Regr. Quadr.	1	7,0760 <sup>NS</sup>	0,4695 <sup>NS</sup>	28294,967 <sup>NS</sup>	17422,90 <sup>NS</sup>	11,7601 <sup>NS</sup>	8,44234 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	9,3457 <sup>NS</sup>	9,3299 <sup>NS</sup>	0,3572 <sup>NS</sup>	16698,15 <sup>NS</sup>	1,3893 <sup>NS</sup>	14,0263 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	3,9946 <sup>NS</sup>	2,8538 <sup>NS</sup>	4,1302 <sup>NS</sup>	15915,93 <sup>NS</sup>	7,2996 <sup>NS</sup>	10,7808 <sup>NS</sup>
Blocos	2	2,3435 <sup>NS</sup>	10,6281 <sup>NS</sup>	76095,560 <sup>NS</sup>	1737,946 <sup>NS</sup>	21,5241 <sup>NS</sup>	4,63080 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	13,0944*	11,7062 <sup>NS</sup>	133950,045*	315,1224 <sup>NS</sup>	78,3114*	16,56147 <sup>NS</sup>
Inter. (Nr x Cv)	4	6,3204 <sup>NS</sup>	4,7903 <sup>NS</sup>	31979,329 <sup>NS</sup>	6013,056 <sup>NS</sup>	11,5082 <sup>NS</sup>	8,90476 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	2,66016	4,5529	30843,898	4919,4289	11,2689	4,97986
CV(%)	-	12,71	11,28	4,58	22,41	13,80	14,17
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (mg kg<sup>-1</sup>)</b>					
BRS Paraguaçu		12,1673 b	18,2840	3769,7527 b	316,1727	22,7100 b	16,4927
BRS Nordestina		13,4887 a	19,5333	3903,3940 a	309,6907	25,9413 a	15,0067
DMS		1,2512	1,6369	134,7299	53,80677	2,5752	1,7119
F. de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Cu-Raízes	Cu-Folhas	Mn-Raízes	Mn-Folhas	Na-Raízes	Na-Folhas
Nível repos. (Nr)	4	12,4426*	4,04003**	226,2903*	586,88005*	7,3860**	4,770412**
Regr. Linear	1	11,0082 <sup>NS</sup>	13,34816**	741,8057**	373,8009 <sup>NS</sup>	27,2700**	15,4913**
Regr. Quadr.	1	1,1247 <sup>NS</sup>	0,92610 <sup>NS</sup>	72,4843 <sup>NS</sup>	1781,044*	2,1664 <sup>NS</sup>	0,11440 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	36,6602**	0,21004 <sup>NS</sup>	48,3483 <sup>NS</sup>	34,9912 <sup>NS</sup>	0,0667 <sup>NS</sup>	3,4082 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,9773 <sup>NS</sup>	1,6758 <sup>NS</sup>	42,5230 <sup>NS</sup>	157,684 <sup>NS</sup>	0,0408 <sup>NS</sup>	0,0678 <sup>NS</sup>
Blocos	2	21,3882*	0,025523 <sup>NS</sup>	398,4985*	45,53676 <sup>NS</sup>	0,1333 <sup>NS</sup>	0,075070 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	19,3098*	0,65416 <sup>NS</sup>	874,8000**	425,8593 <sup>NS</sup>	3,6463*	3,584563**
Inter. (Nr x Cv)	4	2,5455 <sup>NS</sup>	0,12981 <sup>NS</sup>	121,8572 <sup>NS</sup>	470,9149 <sup>NS</sup>	2,5079* (Tabela 45)	0,832272 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	3,9467	0,693042	66,4131	177,67227	0,6776	0,368311
CV(%)	-	24,66	21,54	10,08	15,48	11,05	27,01
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias (mg kg<sup>-1</sup>)</b>					
BRS Paraguaçu		7,3173 b	4,0120	75,4620 b	94,8760	7,1527 b	1,9013 b
BRS Nordestina		8,7920 a	3,7167	86,2620 a	87,3407	7,7467 a	2,5927 a
DMS		1,4240	0,6386	6,2518	10,225	0,5314	0,4655

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 25** – Teor de micronutrientes e sódio nos tecidos radiculares e foliares da mamoneira, em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006



**Figura 26** – Planta da cultivar BRS Paraguaçu com sintomas de deficiência de zinco e cobre. Campina Grande – PB, 2006

**Tabela 45** - Desdobramento das interações significativas e médias das cultivares para o teor de Na<sup>+</sup> nas raízes. Campina Grande – PB, 2006

Fonte de Variação	Quadrados Médios	
	Na-Raízes	
<b>Nr em Cv<sub>1</sub></b>		
Reg. Linear	21,26892**	
Reg. Quadrática	0,125952 <sup>NS</sup>	
Reg. Cúbica	0,541363 <sup>NS</sup>	
Regr. 4º Grau	1,064298 <sup>NS</sup>	
<b>Nr em Cv<sub>2</sub></b>		
Reg. Linear	7,691203**	
Reg. Quadrática	5,936288**	
Reg. Cúbica	1,212030 <sup>NS</sup>	
Regr. 4º Grau	1,735372 <sup>NS</sup>	
Resíduo	0,677619	
<b>Cv em Nr</b>	<b>Médias (mg kg<sup>-1</sup>)</b>	
<b>Cv em Nr<sub>1</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : BRS Nordestina	9,603333 a	
Cv <sub>2</sub> : BRS Paraguaçu	7,303333 b	
<b>Cv em Nr<sub>2</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : BRS Nordestina	8,550000	
Cv <sub>2</sub> : BRS Paraguaçu	8,073333	
<b>Cv em Nr<sub>3</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : BRS Nordestina	7,210000	
Cv <sub>2</sub> : BRS Paraguaçu	8,450000	
<b>Cv em Nr<sub>4</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : BRS Nordestina	7,403333	
Cv <sub>2</sub> : BRS Paraguaçu	6,256667	
<b>Cv em Nr<sub>5</sub></b>		
Cv <sub>1</sub> : BRS Nordestina	5,966667	
Cv <sub>2</sub> : BRS Paraguaçu	5,680000	
<b>DMS</b>	1,412072	

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey

#### 4.19 – Consumo Total de Água, Eficiência de Uso da Água e Teor de Óleo

##### Consumo Total de Água (C.T.A.)

Apresenta-se, na Tabela 46, o resumo da análise de variância para o consumo total de água pela cultura, o qual foi calculado a partir do balanço hídrico (subitem 3.8, em Material e Métodos). Uma vez que os níveis de reposição da evapotranspiração foram aplicados segundo uma progressão aritmética (0,60, 0,75, 0,90, 1,05 e 1,20 ETc) e se considerando que, sob os três níveis mais baixos (0,60, 0,75 e 0,90 ETc) não ocorria a drenagem (todo o volume aplicado era consumido) se previa incremento linear do C.T.A. (Figura 27A), de modo que entre  $Nr_1$  e os demais níveis,  $Nr_2$ ,  $Nr_3$ ,  $Nr_4$  e  $Nr_5$ , os acréscimos foram na ordem de 20, 40, 60 e 80 %, respectivamente. Tal comportamento também é refletido pelos elevados coeficientes de determinação ( $R^2 = 0,99$ ), representando alto grau de associação entre a variável independente ('Nr') e a dependente (C.T.A.).

Lacerda (2006) verificou, em estudo com a cultivar BRS Paraguaçu, resultado semelhante, de tal forma que o tratamento mantido a 100 % de água disponível foi superior aos de 90, 80 e 70 % AD em 10,29, 36,60 e 130,00 %, respectivamente.

Ao longo dos seis meses de pesquisa, foram verificados consumos (volume irrigada – volume drenado) de 279,45, 335,55, 391,62, 447,69 e 503,76 L/planta para os tratamentos 60, 75, 90, 105 e 120 % da evapotranspiração, respectivamente; Barros Júnior (2007) notou que as mesmas cultivares (BRS Nordestina e BRS Paraguaçu) consumiram menores volumes em 180 dias, 36,91, 63,41, 138,72 e 497,24 L de água nos tratamentos de 40, 60, 80 e 100 % de água disponível, respectivamente. Ainda conforme o autor, tais volumes corresponderam às seguintes lâminas acumuladas: 188, 323, 707 e 2533 mm (1,04, 1,79, 3,93 e 14,07 mm dia<sup>-1</sup>). Os maiores volumes observados nesta pesquisa se devem ao maior crescimento das plantas irrigadas com água residuária, notadamente em área foliar. Xavier (2007) verificou que as plantas de mamoneira irrigadas com água de abastecimento, porém sem fertilizantes, tiveram crescimento lento, não atingiram a floração e tiveram consumo total de água baixíssimo ( $\cong 45,0$  L), enquanto as plantas irrigadas com água residuária chegaram a consumir cerca de 466,0 L em 135 dias, devido ao maior crescimento e desenvolvimento das plantas, resultado mais coerente com esta pesquisa, por se tratar do uso de água residuária nas irrigações.

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<sup>-1</sup>), verificou que as plantas

cultivadas em substrato mais rico em matéria orgânica consumiram maior volume de água em razão da maior produção de biomassa.

No tocante ao fator 'cultivar', tem-se que o consumo acumulado de água entre a BRS Nordestina e a BRS Paraguaçu foi igual, 392 L/planta (Tabela 46). Não se verificou interação dos fatores 'Nr' e 'Cv', visto que os volumes de Nr<sub>1</sub>, Nr<sub>2</sub> e Nr<sub>3</sub> aplicados em 'Cv' eram rigorosamente iguais. Barros Júnior (2007) também registrou consumo médio semelhante entre as cultivares BRS Nordestina (184,32 L) e BRS Paraguaçu (183,83 L), não havendo diferença significativa.

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

A E.U.A. (expressa em kg m<sup>-3</sup>) foi mensurada e avaliada mediante a relação entre a produção de bagas, PB (kg) e o volume de água consumido pelas plantas, C.T.A. (m<sup>3</sup>) conforme Doorenbos & Kassam (1994). Na Tabela 46 está contido o resultado da análise de variância para esta variável, na qual se verifica que a E.U.A. foi significativamente afetada pelos níveis de reposição da evapotranspiração com incremento linear. Nota-se, pela Figura 27B, que a eficiência cresceu linearmente com o incremento da reposição de água no solo com acréscimo de 28,94 % em 'Nr<sub>5</sub>' comparado a 'Nr<sub>1</sub>', ou seja, foi maior a capacidade produtiva na proporção em que o conteúdo de água no solo aumentava. Entretanto, a E.U.A. média foi relativamente baixa, 0,34 kg m<sup>-3</sup>, ressaltando-se que a produção de bagas também foi baixa, visto que não se fizeram adubações de cobertura e o aporte de nutrientes da água residuária não foi suficiente para promover bons rendimentos; deduz-se, portanto, que para o uso dessa água de esgoto doméstico se faz necessário o complemento da adubação mineral para obtenção de maiores rendimentos e, conseqüentemente, maior eficiência de uso de água.

Considerando-se uma produtividade de 1.500 kg ha<sup>-1</sup> com disponibilidade hídrica de 500-800 mm (BELTRÃO et al., 2002; CARVALHO, 2005) a E.U.A. resultaria entre 0,20 e 0,30 kg m<sup>-3</sup>, ligeiramente inferior às observadas nesta pesquisa.

Lacerda (2006) e Barros Júnior (2007) constataram, ao pesquisarem as mesmas cultivares, que a eficiência de uso também cresceu linearmente com a maior disponibilidade de água. Silva & Beltrão (2000) também verificaram o mesmo comportamento em trabalhos com a cultivar de amendoim BR 1. Situações contrárias foram reportadas por Barreto et al. (1994) e Pereira (1995) que, em pesquisas com algodoeiro, cvs CNPA 6H, CNPA 7H e CNPA Precoce 1, a eficiência de uso de água ocorreu sob o nível mais baixo de água disponível.

Não se verificou diferença estatística entre as cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu nem interação significativa com os níveis de reposição da evapotranspiração (Tabela 46); este comportamento também foi verificado por Barros Júnior (2007).

### **Teor de Óleo nas Sementes**

A Tabela 46 contém o resumo da análise de variância desse importante componente da mamoneira. Observa-se que não houve efeito significativo em relação ao teor de óleo, no tocante aos diferentes níveis de reposição de água consumida e não se verificou interação significativa entre os fatores estudados, níveis de reposição x cultivares, porém houve diferença significativa entre as duas cultivares estudadas, em que a BRS Nordestina (54,18 % de óleo) foi significativamente maior que a BRS Paraguaçu (49,92 % de óleo). Por outro lado, Barros Júnior (2007) não detectou diferença significativa entre as mesmas cultivares. Os teores médios de óleo das cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu apontados pela Embrapa (2002) e Carvalho (2005) são 49,00 e 48,00 %, respectivamente, portanto, nas condições desta pesquisa, se observaram maiores percentuais, notadamente na cultivar BRS Nordestina.

Mediante análise da Figura 27C, o percentual de óleo praticamente não varia com os níveis de reposição da evapotranspiração. Barros Júnior (2007) verificou resultados opostos, de modo que houve redução expressiva no teor de óleo entre o tratamento 100 % AD (46,92 % óleo) e 80 % AD (20,16 % óleo). Laureti (2002), em estudos com o híbrido 'HD 912' de mamona, registrou redução de 50,70 % no teor de óleo das sementes cultivadas a 25 % ETc.

Ressalta-se que as plantas irrigadas com as maiores lâminas de reposição produziram maior biomassa de bagas, o que implica afirmar que tais plantas também produziram maior quantidade de óleo. As elevadas concentrações verificadas notadamente na cultivar BRS Nordestina, podem ser atribuídas ao aporte de nutrientes da água residuária, entretanto Souza (2006) notou que os nutrientes contidos no esgoto tratado não foram suficientes para suprir a semente, de modo que o teor de óleo foi inferior aos tratamentos envolvendo adubação. Segundo Drumond et al. (2006), há diferencial nos teores de óleo 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.

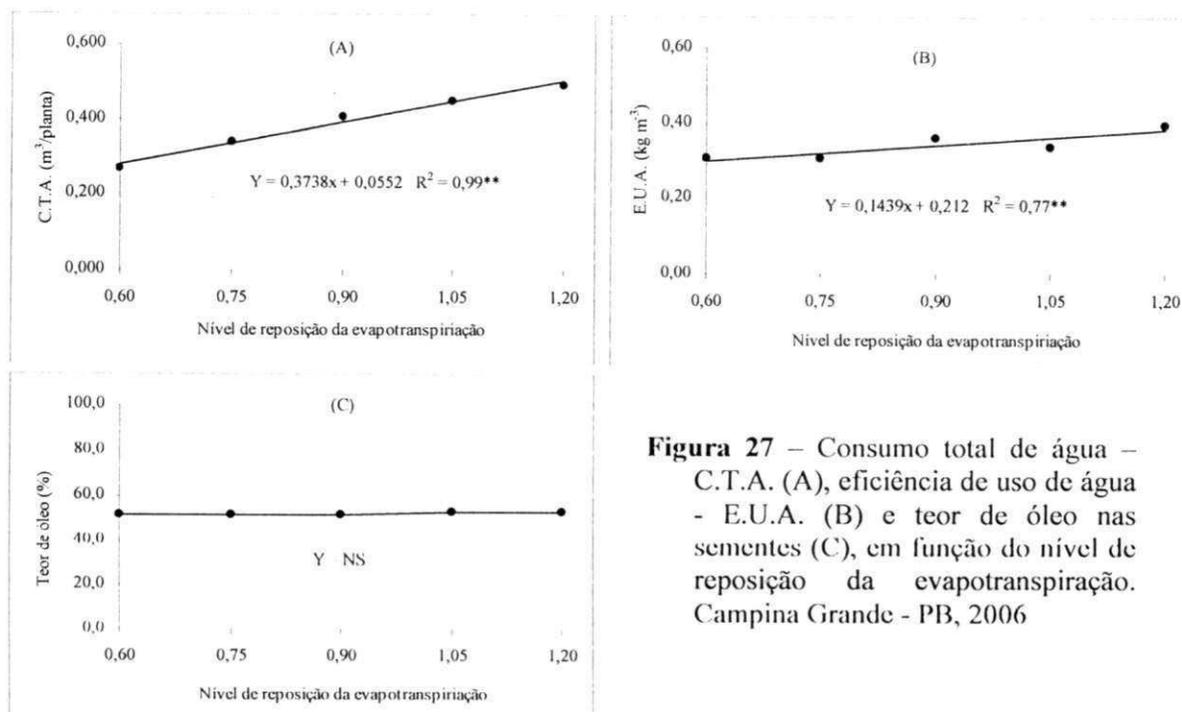
Fatores agronômicos, como solo, adubação, pluviometria e altitude, podem afetar a qualidade da semente e, em consequência, o teor de óleo. Severino et al. (2005) verificaram a importância do estado nutricional da mamoneira sobre o teor de óleo nas sementes, com

diferenças significativas entre os tratamentos com e sem adubação, aumentando de 43,5 % para 47,4 % com fornecimento de fertilizantes. A produtividade de óleo (produção x teor de óleo/100) passou de 205,1 kg ha<sup>-1</sup> na ausência da adubação, para 365,2 kg ha<sup>-1</sup> na sua presença, correspondendo, portanto, a um aumento de 78,0 %. Neste contexto, o uso de água residuária nesta pesquisa, pelo aporte de alguns nutrientes, pode ter contribuído para a elevação do teor de óleo nas sementes de mamoneira, embora com baixa produção de bagas, como foi discutida anteriormente.

**Tabela 46** - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para consumo total de água-C.T.A., eficiência de uso de água-E.U.A. e teor de óleo. Campina Grande- PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		C.T.A.	E.U.A.	Teor de Óleo
Nível de reposição (Nr)	4	<b>0,04771**</b>	<b>0,009100*</b>	2,574296 <sup>NS</sup>
Regr. Linear	1	<b>0,190837**</b>	<b>0,027968**</b>	7,889378 <sup>NS</sup>
Regr. Quadrática	1	0,000002 <sup>NS</sup>	0,000473 <sup>NS</sup>	0,499408 <sup>NS</sup>
Regr. Cúbica	1	0,000001 <sup>NS</sup>	0,000318 <sup>NS</sup>	0,859159 <sup>NS</sup>
Regr. 4º Grau	1	0,000000 <sup>NS</sup>	0,007642 <sup>NS</sup>	1,049240 <sup>NS</sup>
Blocos	2	0,00001 <sup>NS</sup>	0,001158 <sup>NS</sup>	0,084662 <sup>NS</sup>
Cultivar (Cv)	1	1,02E-07 <sup>NS</sup>	0,000285 <sup>NS</sup>	<b>135,737909**</b>
Interação (Nr x Cv)	4	0,000003 <sup>NS</sup>	0,002236 <sup>NS</sup>	0,979140 <sup>NS</sup>
Resíduo	18	0,000007	0,002430	3,458877
CV(%)	-	0,67	14,43	3,57
<b>Cultivar (Cv)</b>		<b>Médias</b>		
		(m <sup>3</sup> /planta)	(kg m <sup>-3</sup> )	(%)
BRS Paraguaçu		0,3916	0,3385	49,9242 <b>b</b>
BRS Nordestina		0,3917	0,3446	54,1784 <b>a</b>
DMS		0,0020	0,0378	1,4267

(\*\*) Efeito significativo a 1 % e (\*) a 5 % de probabilidade; (<sup>NS</sup>) não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F  
Médias seguidas por letras diferentes, na vertical, diferem significativamente entre si (P<5%) pelo teste de Tukey



**Figura 27** – Consumo total de água – C.T.A. (A), eficiência de uso de água – E.U.A. (B) e teor de óleo nas sementes (C), em função do nível de reposição da evapotranspiração. Campina Grande - PB, 2006

#### 4.20 – Condutividade Elétrica da Água de Drenagem (CEad) e Fração de Lixiviação (FL)

Apresentam-se, na Tabela 47, os resumos das médias obtidas para CEad e FL nos tratamentos 105 % ETc e 120 % ETc. Verifica-se, em termos médios, CEad = 6,90 dS m<sup>-1</sup> e FL = 4,80 % sob 105 % da ETc, enquanto com 120 % da ETc os sucessivos valores foram 5,32 dS m<sup>-1</sup> e 8,40 %. A menor fração de lixiviação e a maior condutividade elétrica da água de drenagem, obtidas no nível de reposição de 105 %, estão coerentes entre si, pois são variáveis inversamente proporcionais.

Recorda-se que os valores de Na<sup>+</sup> e CEsa (variáveis discutidas neste trabalho) diminuíram linearmente a partir do nível de reposição de 90 % da evapotranspiração, ou seja, naqueles tratamentos em que ocorriam drenagem; tal efeito foi atribuído à fração de lixiviação. Com maior fração de lixiviação, ocorre menor retenção de sais no solo, refletindo-se em menores danos às plantas. Por outro lado, nos tratamentos sem lixiviação (0,60, 0,75 e 0,90 ETc), após cada irrigação, os sais da água residuária se concentravam na solução do solo e, a medida em que as plantas extraíam parte da água armazenada na zona radicular para os seus processos vitais, através da transpiração, deixavam para trás quase todos os sais.

**Tabela 47** – Médias da condutividade elétrica da água de drenagem (CEad)<sup>1</sup> e da fração de lixiviação (FL) durante o período experimental

Variável	Período							
	21-48 DAS		49-90 DAS		91-132 DAS		133-174 DAS	
	Nr <sub>4</sub>	Nr <sub>5</sub>						
CEad (dS m <sup>-1</sup> )	4,23	3,13	7,67	6,28	7,73	5,70	7,98	6,13
FL (%)	3,01	5,07	5,43	9,88	5,47	8,97	5,32	9,68

<sup>1</sup> média ponderada

CEa = 1,40 dS m<sup>-1</sup> (água residuária)

Nr<sub>4</sub> = 1,05 ETc: (CEad média = 6,90 dS m<sup>-1</sup>; FL = 0,048)

Nr<sub>5</sub> = 1,20 ETc: (CEad média = 5,32 dS m<sup>-1</sup>; FL = 0,084)

## 5 – CONCLUSÕES

1. Irrigando-se a mamoneira com água residuária no nível de 60 % da evapotranspiração, ocorre redução de 32,47, 25,67, 47,41 e 105,00 % em altura de planta, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar, respectivamente.
2. O crescimento em altura da cultivar BRS Paraguaçu é significativamente maior que o crescimento da BRS Nordestina.
3. Há atraso de 10 dias no início do florescimento da mamoneira irrigada com nível de 60 % da evapotranspiração, em relação ao nível de 120 %.
4. A condutância estomática decresce mais de 90 % quando a mamoneira é irrigada com lâmina de 60 % da evapotranspiração. Não há danos fisiológicos ao aparelho fotossintético, decorrentes dos níveis de reposição da evapotranspiração.
5. Os componentes de produção da mamoneira irrigada com água residuária são comprometidos com nível de 60 % reposição da evapotranspiração, com redução de 270,0, 121,6 e 137,0 % sobre número de cachos, número de frutos e produção de bagas ou sementes, respectivamente.
6. O aporte de nutrientes da água residuária não é suficiente para produções satisfatórias aos níveis reportados na literatura.
7. Os teores foliares de N (13,26), Zn (15,75 g kg<sup>-1</sup>) e Cu (3,86 g kg<sup>-1</sup>) estão mais baixos que os teores adequados, reportados na literatura.
8. A aplicação de água residuária por seis meses, eleva o pH do solo de 6,33 para 7,83.
9. O teor de Na<sup>+</sup> presente na água residuária (141,80 mg L<sup>-1</sup>  $\cong$  6,16 mmolc L<sup>-1</sup>) pode salinizar e desestruturar o solo.
10. Os teores de macronutrientes das folhas são superiores aos teores das raízes da mamoneira. Os teores dos micronutrientes Fe, Zn, Cu e Na são maiores nas raízes que nas folhas.
11. Os teores de micronutrientes e de sódio (Cl, Fe, Zn, Cu, Mn e Na) contidos nos tecidos radiculares são maiores na cultivar BRS Nordestina.
12. A eficiência de uso de água residuária pela mamoneira (kg de bagas por m<sup>3</sup> de água consumida) é 28,94 % maior nas plantas irrigadas com 120 % da evapotranspiração em relação as plantas irrigadas com 60 % da evapotranspiração.
13. Os coeficientes de cultivo (kc) obtidos para a mamoneira em ambiente protegido (0,71 a 2,37) são mais altos que os kc obtidos em condições de campo (0,32 a 1,20).

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1º ANUÁRIO BRASILEIRO DO BIODIESEL. MENAMI, R. (org.). Ed. Letra Boreal. 2007. 224p.

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: 29/09/2007.

ALBUQUERQUE, R.C.; SAMPAIO, L.R.; BELTRÃO, N.E. de M.; LIMA, R.L.S. Influência de fontes e doses de nitrogênio sobre o crescimento e desenvolvimento da mamoneira. In: II Congresso Brasileiro de Mamona – Cenário Atual e Perspectivas. Aracaju, SE. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD-Rom. 5p.

ALBUQUERQUE, R.C.; SAMPAIO, L.R.; SEVERINO, L.S. Comportamento de genótipos de mamona submetidos a diferentes temperaturas noturnas: Componentes da produção. In: II Congresso Brasileiro de Mamona – Cenário Atual e Perspectivas. Aracaju, SE. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD-Rom. 4p.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. **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.

ALVES, M.O. **Possibilidade da mamona como fonte de matéria-prima para produção de biodiesel no Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004. 42p.

ALVES, W. W. A. **Fertirrigação com água residuária na cultura do algodão de fibra marrom**. Campina Grande: UFCG, 2006. 191p. Tese Doutorado.

AMORIM NETO, M.S.; ARAÚJO, A.E.; BELTRÃO, N.E. de M. Clima e solo. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2001. cap. 3, p.63-76.

APHA - American Public Health Association; AWWA-American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 19.ed. Washington, DC: APHA, 1995. 1082p

ARAÚJO, L.F.P. **Reúso com lagoas de estabilização, potencialidades no Ceará**. Fortaleza. SEMACE, 2000.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 218p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).

AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: DF Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 350p.

AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S.; BELTRÃO, N.E. de M.; SOARES, J.J.; VIEIRA, R.M.; MOREIRA, J.A.N. **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Nordeste do Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1997. 52p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 25).

BAKER, N.R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.55, p.1607-1621, 2004.

BANDEIRA, D.A.; CARTAXO, W.V.; SEVERINO, L.S. BELTRÃO, N.E. de M. Resíduo industrial da mamona como fonte alternativa na alimentação animal. In: I Congresso Brasileiro de Mamona - Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004. CD-Rom. 7p.

BARRETO, A.N.; BELTRÃO, N.E. de M.; BEZERRA, J.R.C.; LUZ, M.J.S. Efeito da configuração de plantio na cultura do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, irrigado por sulco. In: **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão – 1992/1993**, Campina Grande-PB, EMBRAPA-CNPA, 1994, p.155-157.

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

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D.; CAVALCANTI, M. L. F. Análise de crescimento da mamoneira submetida ao estresse hídrico. In: I Congresso Brasileiro de Mamona - Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004a. CD-Rom. 5p.

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D.; CAVALCANTI, M. L. F.; BARROS, A.D. Efeitos do estresse hídrico sobre a emissão de inflorescências em duas cultivares de mamona. In: I Congresso Brasileiro de Mamona - Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004b. CD-Rom. 5p.

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. de M. **A cadeia da mamona no Brasil, com ênfase para o segmento P&D: estado da arte, demandas de pesquisa e ações necessárias para o desenvolvimento**. Campina Grande, PB: EMBRAPA, 2004. 19p.

BELTRÃO, N.E. de M. Crescimento e desenvolvimento da mamoneira (*Ricinus communis* L.), **Comunicado Técnico**, 146, Campina Grande, dez. 2002.

BELTRÃO, N.E. de M.; ARAÚJO, A.E.; AMARAL, J.A.B.; SEVERINO, L.S.; CARDOSO, G.D.; PEREIRA, J.R. **Zonamento e época de plantio da mamoneira para o Nordeste brasileiro**. Campina Grande, jan. 2002, 15p.

BELTRÃO, N.E. de M.; SILVA, L.C. Os múltiplos usos do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. **Fibras e Óleos**. Campina Grande. n.31, 1999.

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.

BELTRÃO, N.E. de M.; SILVA, L.C.; VASCONCELOS, O.L.; AZEVEDO, D.M.P. de; VIEIRA, D.J. Fitologia. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: DF Embrapa Informação Tecnológica, cap.2, p.37-59, 2001.

BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, G.J.; SANTOS, J.W. dos. Estresse hídrico (deficiência e excesso) e seus efeitos no crescimento inicial da mamoneira, cultivar BRS 188 Paraguaçu. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.7, n.2/3, p.735-741, maio-dez. 2003.

BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, G.J.; SANTOS, J.W.; JERÔNIMO, F.J.; COSTA, F.X.; LUCENA, A.M.A.; QUEIROZ, U.C. Fisiologia da mamoneira, cultivar BRS 149 Nordeste, na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.7, n.1, p. 659-664, jan-abr, 2003.

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

BEZERRA, E.L. **Evapotranspiração na cultura da mamoneira**. Cuiabá - MT: Universidade Federal de Mato Grosso - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2004. 61p.il. (Dissertação de Mestrado).

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**, 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.

BOYER; J.S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. **Plant Physiology**, v.46, p.233-235. 1970.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **I - Levantamento Exploratório, Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba. II - Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: A/CONTAP/USAID/BRASIL. 1972. 683p. Boletim DPFS, EPE-MA, 15 - Pedologia, 8.

CARVALHO, B.C.L. **Manual do cultivo da mamona**. Salvador: EBDA, 2005. 65p. il.

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**. Campina Grande: UFCG, 2007. 111p. (Tese de Doutorado).

CAVALCANTI, M.L.F. **Germinação e crescimento inicial da mamoneira irrigada com águas salinas**. Campina Grande: UFCG, 2003. 46p. (Dissertação de Mestrado).

CLARK; ALBREGTS, E.E.; STANLEY, C.D. et al. Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v.39, n.3, p.905-912, 1996.

CONCEIÇÃO, M.M.; ROBERLÚCIA, A.C.; SILVA, F.C.; BEZERRA, A.F.; FERNANDES, V.F. **Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. UFRN, Natal, 2005, 12p.

CURI, S.; CAMPELO JÚNIOR, J.H. Evapotranspiração e coeficientes de cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.), em Santo Antônio do Leverger-MT. In: I Congresso Brasileiro de Mamona – Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD-Rom. 6p.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. cap.3, p.91-132p.

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).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Tradução de GHEYI, H.R.; ETRI, J.E.C.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1997. 204p. il. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 24)

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.

DURAES, 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.

DUTRA, M.R.; PAIVA, B.R.T.L.; SILVA, R.V.B.; CAMPOS, V.P.; GARCIA, E.P.; CASTRO NETO, P.; FRAGA, A.C. Utilização de produtos alternativos no controle do nematóide *meloidogyne exigua* em cafeeiros da região sul de Minas Gerais. In: I Congresso Brasileiro de Mamona - Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004. CD-Rom. 4p.

EMATER-CE – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará. Informações sobre o cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.). **Informações Técnicas**, 20. Fortaleza, 1990. 19p.

EMBRAPA ALGODÃO. **BRS-149 Nordestina e BRS-188 Paraguaçu**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. (Folder).

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. Centro Nacional de Pesquisa de solos. 2.ed. 1997a. 212p.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L) no Nordeste do Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão. 1997b. 52p. (Circular Técnica, 25).

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA/DPU, 1989. 425p. (EMBRAPA CNPAF. Documento, 18).

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**, Berlin: Springer-Verlag. 1991. 233p.

FERREIRA, G.B.; SANTOS, A.C.M. XAVIER, R.M.; FERREIRA, M.M.M.; SEVERINO, L.S.; BELTRÃO, N.E. de M. Deficiência de fósforo e potássio na mamoneira (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: I Congresso Brasileiro de Mamona - Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004. CD-Rom. 8p.

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

FREIRE, R.M.M. Ricinoquímica. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2001. cap. 8, p.295-335.

FURLANI, A.M.C. **Nutrição mineral**. In: KERBAUY, G.B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2004, p.40-75.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 3.ed. Piracicaba: São Paulo: Nobel, 1982. 436p.

GOSS, J. A. **Physiology of plants and their cells**. New York: Pergamon. p.457. 1973.

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.

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

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

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil - agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (eds). **Reúso de água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. SP: Manole, 2003. cap.3, p.37-95.

HOCKING, P.J. Accumulation and distribution of nutrients in fruits of castor bean (*Ricinus communis* L.). **Annals of Botany**, v.49, p.51-62, 1982.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.org.br>>. Acesso em: 15/08/2007.

JAYAKUMAR, M., SASEENDRAN, S.A., HEMAPRABHA, M. Crop coefficient for coconut (*Cocos nucifera* L.): A lysimetric study. **Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam**, v.1, n.43, p.235-240, 1987.

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

KONRAD, M.L.F.; SILVA, J.A.B.; FURLANI, P.R.; MACHADO, E.C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.339-347, 2005.

KOURAA, A; FETHI. F.; FAHDE, A.; LAHLOU, A. QUAZZANI, N. Reuse of urban wastewater treated by a combined stabilization pond system in Benslimane (Morocco). **Urban water**, v.4, p.373-378, 2002.

KOURI, J.; SANTOS, R.F. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona no Brasil. In: II Congresso Brasileiro de Mamona – Cenário Atual e Perspectivas. Aracaju, SE. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD-Rom. 7p.

KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review Plant Physiology**. Plant Molecular Biology, v.42, p.313-349, 1991.

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

LANGHE, A.; MARTINES, A.M.; SILVA, M.A.C.; SORREANO, M.C.M.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.145-151, fev. 2005.

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

LAURETI, D. Fabbisogni idrici del ricino (*Ricinus communis* L.) mediante l'impiego di coefficienti colturali e di deficit idrico. **Agroinsútria**, Itália, v.1, n.3, p.165-167, 2002.

LAVRES JÚNIOR, A.; BOARETTO, R.M.; SILVA, M.L.S.; CORREIA, D.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Deficiência de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, p.61-67, jan. 2005.

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.

LOPES, F.F.M.; BELTRÃO, N.E. de M.; LOPES NETO, J.P. Avaliação do crescimento inicial de genótipos de mamoneira pela análise das taxas de crescimento (análise destrutiva). In: II Congresso Brasileiro de Mamona – Cenário Atual e Perspectivas. Aracaju, SE. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD-Rom. 6p.

LUCENA, A.M.A.; GUERRA, H.O.C.; CHAVES, L.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, RN, v.19, n.4, p.409-414, out/dez. 2006.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. (Coord.). **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU/Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. cap.8, p.331-350.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, 1980, 254p.

MALAVOLTA, E. Nutri-fatos: informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas. **Arquivo do Agrônomo**. Piracicaba: Potafos, 1996, n.10, p.13.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997, 319p.

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

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

MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R. **Qualidade da água de irrigação**. Mossoró, ENA/ESAM, 1994. 60p. (ESAM, Boletim técnico-científico, 22).

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.

MELI, S.; PORTO, M.; BELLIGNO, A.; BUFO, S.A.; MAZZATURA, A.; SCOPA, A. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. **The Science of the Total Environment**. v.285, p.69-77, 2002.

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

MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse**. 3.ed. New York: Mcgraw-Hill Book Co., 1991, 1334p.

MONTE, H.M.; SOUZA, M.S. Effects on crops of irrigation with facultative pond effluent. **Water Science and Technology**. v.26, n.7-8, p.1603-1613, 1992.

MOREIRA, J.A.; LIMA, E.F.; FARIAS, F.J.C.; AZEVEDO, D.M.P. de. **Melhoramento da mamoneira (*Ricinus communis* L.)** Campina Grande: Embrapa Algodão, 1996. 29p. (Embrapa Algodão. Boletim de Pesquisa, 34).

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

NASCIMENTO, M.B.H.; LIMA, V.L.A.; BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, A.P. Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: crescimento e desenvolvimento. In: I Congresso Brasileiro de Mamona – Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004a. CD-Rom. 5p.

NASCIMENTO, M.B.H.; LIMA, V.L.A.; BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, A.P. Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: componentes de produção. In: I Congresso Brasileiro de Mamona – Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004b. CD-Rom. 6p.

NEILSEN, G.H.; STEVENSON, D.S.; FITZPATRICK, J.J.; BROWNLLE, C.H. Yield and plant nutrient content of vegetables trickle-irrigated with municipal wastewater. **Hort Science**. v.24, n.2, p.249-252, 1989.

NÓBREGA, M.B.M.; ANDRADE, F.P.; SANTOS, J.W. dos; LEITE, E.J. Germoplasma. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E. F. (eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. cap.11, p.257-281.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; ALBUQUERQUE, M.B.; SILVA, E.C. **Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga**. In: NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E.L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U.M.T. (eds.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. UFRPE: Recife. 2005. p.22-31.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. 1017p.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A.J. de; GARRIDO, W.E.; ARAÚJO, J.D. de; LOURENÇO, S. (coords.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: EMBRAPA. 1991. cap.2, p189-198. (EMBRAPA-SEA. Documento, 3).

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

OLIVEIRA, S.A. Análise foliar. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (eds.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.245-256.

OMS. **Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura**. Ginebra: OMS. 1989. (Serie de Informes Técnicos, 778)

PAGANINI, W.S. **Disposição de esgotos no solo. escoamento à superfície**. São Paulo: AESABESP, 1997. 232p.

PAULO, E.M.; BATAGLIA, O.C.; KASAI, F.S.; CAVICHIOLI, J.C. Deficiência de boro em mamona. **Bragantia**, v.48, p.241-247, 1989.

PEREIRA, R.; VILLA NOVA, N.; SEDIYAMA, G. **Evapo(transpi)ração** Piracicaba: FFEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, M.N.B. **Comportamento de duas cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gosypium hirsutum*, L. r. *Latifolium* Hutch) em baixos níveis de água disponível do solo**. Campina Grande: UFPB/CCT, 1995. 109p. (Dissertação de Mestrado).

PESCOD, M.B. **Wastewater treatment and reuse in agriculture**. Rome: FAO 1992, 125. (Irrigation and Drainage Paper, 47).

PINTO, C.M. **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006. 80fls. (Dissertação de Mestrado).

PIRES, M.M.; ALVES, J.M.; ALMEIDA NETO, J.A.A.; ALMEIDA, C.M. SOUSA, G.S.; CRUZ, R.S.; MONTEIRO, R.; LOPES, B.S. ROBRA, S. Biodiesel de mamona: uma avaliação econômica. In: I Congresso Brasileiro de Mamona - Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004. CD-Rom. 6p.

PIVELI, R.P.; DORIA, M.C. Condições Operacionais de Sistema de Tratamento de Esgotos por Lagoas de Estabilização em Lins/SP. (compact disc) In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, Joinville 2003. **Anais...** Joinville: ABES, 2003.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. 2.ed. Madri: Editorial Española S.A., 1985. 542p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos. 1991. 343p.

RAMOS, N.P.; AMORIM, E.P.; GALLI, J.A.; MARTINS, A.L.M. Desempenho vegetativo de mamona sob diferentes sistemas de manejo do solo. In: II Congresso Brasileiro de Mamona – Cenário Atual e Perspectivas. Aracaju, SE. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD-Rom. 6p.

RENGASAMY, P.; OLSSON, K.A. Irrigation and sodicity. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.31, p.821-837, 1993.

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

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, A.C.M.; FERREIRA, G.B.; XAVIER, R.M.; FERREIRA, M.M.M.; SEVERINO, L.S.; BELTRÃO, N.E. de M. Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus communis*): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: I Congresso Brasileiro de Mamona - Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004. CD-Rom. 7p.

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

SANTOS, J.W. dos; MOREIRA, J.A.N.; BELTRÃO, N.E. de M. Avaliação do emprego dos testes de comparação de médias na revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB) de 1980 a 1994. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.3, p. 225-230, 1998.

SANTOS, N.M.R. **Biodiesel – Uma Alternativa Energética Sustentável**. Fortaleza, 2004. 131fl. UFCE (Monografia do Curso de Especialização em Avaliação Ambiental).

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

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

SEVERINO, L.S.; COSTA, F.X.; BELTRÃO, N.E. de M.; LUCENA, A.M.A.; GUIMARÃES, M.M.B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.1, 2004. 6p.

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 semi-árida**. Campina Grande – Embrapa Algodão: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Setembro de 2005, n.62, 19p.

SHUVAL, H.; ADIN, A.; FATTAL, B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. **Health effects of wastewater irrigation and their control in developing countries**. The World Bank. Integrated Resource Recovery Project Series Number GLO/80/004. 1985, 340p.

- SILVA, A.F.; ANJOS, J.B.; DRUMOND, M.A.; MILANE, M.; NÓBREGA, M.B.M.; SUASSUNA, T.M.F. Avaliação preliminar de cultivares de mamona em condições semi-áridas do Nordeste do Brasil. In: 1 Congresso Brasileiro de Mamona - Energia e Sustentabilidade. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004. CD-Rom. 4p.
- SILVA, F.C. **Uso de dispositivos lisimétrico para medida da evapotranspiração de referência**. Piracicaba, 1996. 68p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SILVA, L.C.; BELTRÃO, N.E. de M. Incremento de fitomassa e produtividade do amendoim em função de lâmina e intervalos de irrigação. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.4, n.2, p.11-121, mai-ago. 2000.
- SILVA, M.M.P.; VAZQUEZ, H.M.; BRESSAN-SMITH, R.; SILVA, F.C. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.35, n.1, p.67-74, 2006.
- SILVA, S.M.S. **Germinação, crescimento e desenvolvimento de genótipos de mamoneira irrigados com águas salinas**. Campina Grande: UFCG, 2004. 74p. (Dissertação de Mestrado).
- SINOGAS, C.J.M. **Virologia – textos de apoio e manual prático**. Universidade de Évora. Departamento de biologia. 2007. 47p.
- 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.
- SOUZA, E.C.A.; NATALE, W. Efeito do boro e do zinco na cultura da mamoneira. **Científica**, Jaboticabal. v.2, p.327-333, 1997.
- SOUZA, M.A.F.; ALBUQUERQUE, G.A.; ROSENHAIM, R.; CANDEIA, R.A. **Obtenção de Biodiesel utilizando misturas de óleos de peixe e canola: caracterização térmica**. In: Congresso Internacional de Agroenergia e Biocombustíveis – Energia de Resultados. **Anais...** Teresina-PI, CD-Rom. 2007.
- SOUZA, N.C. **Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006. 127p. (Dissertação de Mestrado).
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- TÁVORA, F.J.A.F. **A cultura da mamona**. Fortaleza: EPACE, 1982. 111p.
- 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.

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.

TSUTIYA, M.T. Caracterização de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Editores). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001, cap. 4, p.89-129.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. Technical Report No EPA/625/R-92/2004. Washington, DC: USEPA, 1992.

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

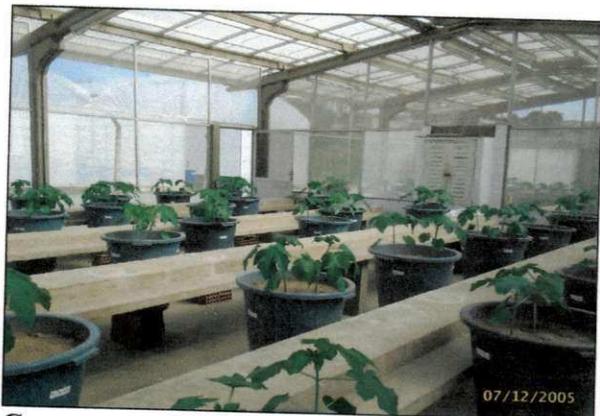
WENDT, C.W. Use of a relationship between leaf length and leaf area to estimate the leaf area of cotton. (*Gossypium hirsutum* L.), Castors (*Ricinus communis* L.) and sorghum (*Sorghum vulgare* L.). **Agronomy Journal**, v.59, p.484-486, 1967.

WHO. **Health guidelines for the use of wastewater in agricultures and aquaculture**. Geneva: WHO. 1989. (Technical report serie, 778).

XAVIER, J.F. **Águas residuárias provenientes de indústrias e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS Nordesteira**. Campina Grande: UFCG, 2007. 101p. (Dissertação de Mestrado).

## 7 - APÊNDICES

A.



B.



C.



D.



E.



Figura A1 – Vista parcial aos 21 DAS (A) e aos 71 DAS (B), início da floração (C), racemo da cultivar BRS Nordestina (D) e da BRS Paraguaçu (E). Campina Grande - PB, 2006

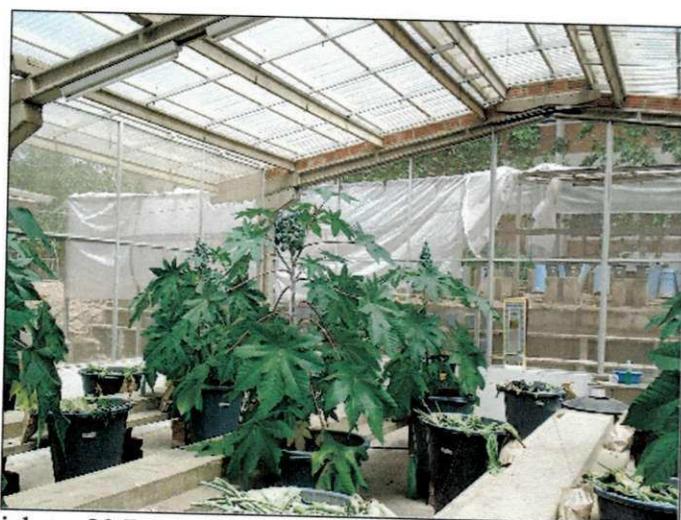


Figura A2 – Vista parcial aos 90 DAS (A) por ocasião da primeira coleta de plantas. Campina Grande - PB, 2006

Tabela A1 – Planilha eletrônica para manejo das irrigações. Campina Grande – PB, 2006

Planilha de Irrigação											Área de exposição do vaso, D = 0,50m (m <sup>2</sup> )					0,20				
Data	D.A.S.	Q <sub>0</sub> <sup>(1)</sup>	T <sup>o</sup> Máx. ( C )	T <sup>o</sup> Mín. ( C )	T m ( C )	ET <sub>0</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )	Fase	Kc	ETc mm dia <sup>-1</sup>	ETc (2 dias)	Lâminas (mm/2dias)					Lâminas (mL/2dias)				
											Nr1 = 0,60*ETc	Nr2 = 0,75*ETc	Nr3 = 0,90*ETc	Nr4 = 1,05*ETc	Nr5 = 1,20*ETc	Nr1 = 0,60*ETc	Nr2 = 0,75*ETc	Nr3 = 0,90*ETc	Nr4 = 1,05*ETc	Nr5 = 1,20*ETc
											07/dez/05	21-22	Lâmina aplicada (arbitrada)							
		Lâmina drenada												0,40	2,45				80	490
09/dez/05	23-24	15,88	37,50	21,00	29,25	6,98	I	0,320	2,23	4,47	2,68	3,35	4,02	4,69	5,36	536	670	804	938	1072
		Lâmina drenada												0,00	0,00				0	0
11/dez/05	25-26	15,88	37,80	21,40	29,60	7,01	I	0,320	2,24	4,49	2,69	3,37	4,04	4,71	5,38	538	673	808	942	1077
		Lâmina drenada												0,00	0,00				0	0
13/dez/05	27-28	15,88	37,80	22,00	29,90	6,93	II	0,364	2,52	5,04	3,02	3,78	4,54	5,29	6,05	605	756	907	1059	1210
		Lâmina drenada												0,00	0,00				0	0
15/dez/05	29-30	15,88	38,00	21,00	29,50	7,12	II	0,408	2,91	5,81	3,49	4,36	5,23	6,10	6,97	697	872	1046	1221	1395
		Lâmina aplicada (arbitrada)									5,00	6,25	7,50	8,75	10,0	1000	1250	1500	1750	2000
		Lâmina drenada												1,34	2,56				267	512
17/dez/05	31-32	15,88	37,00	22,00	29,50	6,69	II	0,452	3,02	6,05	3,63	4,54	5,44	6,35	7,26	726	907	1089	1270	1452
		Lâmina drenada												0,00	0,00				0	0
19/dez/05	33-34	15,88	38,50	21,00	29,75	7,27	II	0,496	3,60	7,21	4,32	5,41	6,49	7,57	8,65	865	1081	1297	1513	1730
		Lâmina aplicada (arbitrada)									10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	2000	2500	3000	3500	4000
		Lâmina drenada												1,58	2,98				315	595
21/dez/05	35-36	15,88	37,00	21,00	29,00	6,84	II	0,540	3,69	7,38	4,43	5,54	6,65	7,75	8,86	886	1108	1329	1551	1772
		Lâmina aplicada									9,56	11,9	14,3	16,7	19,1	1911	2389	2867	3344	3822
		Lâmina drenada												1,00	2,58				200	515
23/dez/05	37-38	15,88	37,00	22,00	29,50	6,69	II	0,584	3,91	7,81	4,69	5,86	7,03	8,21	9,38	938	1172	1407	1641	1876
		Lâmina aplicada									9,43	11,8	14,2	16,5	18,8	1887	2358	2830	3301	3773
		Lâmina drenada												1,08	2,85				215	570
25/dez/05	39-40	15,88	37,50	21,50	29,50	6,91	II	0,628	4,34	8,68	5,21	6,51	7,81	9,11	10,42	1042	1302	1562	1823	2083
		Lâmina aplicada									9,26	11,6	13,9	16,2	18,5	1852	2315	2778	3241	3704
		Lâmina drenada												0,60	1,50				120	300
27/dez/05	41-42	15,88	39,00	22,00	30,50	7,27	II	0,672	4,89	9,78	5,87	7,33	8,80	10,26	11,73	1173	1466	1760	2053	2346
		Lâmina aplicada									9,36	11,7	14,0	16,38	18,72	1872	2341	2809	3277	3745
		Lâmina drenada												1,68	3,30				335	660
29/dez/05	43-44	15,88	40,00	22,00	31,00	7,56	II	0,716	5,41	10,83	6,50	8,12	9,75	11,37	12,99	1299	1624	1949	2274	2599
		Lâmina aplicada									8,83	11,0	13,2	15,4	17,6	1765	2206	2648	3089	3530
		Lâmina drenada												1,13	3,23				225	645

ET<sub>0</sub> = 0,0023.Q<sub>0</sub>.(T<sub>máx</sub>-T<sub>mín</sub>)<sup>0,5</sup>.(T<sub>m</sub>+17,8) (HARGREAVES & SAMANI, 1985); ETc = ET<sub>0</sub>\*k<sub>c</sub>

(continuação da Tabela A1)

**Coefficientes de cultivo (kc) da mamoneira**

Fase	Descrição	Kc
I	Estabelecimento (germinação, emergência e plântula)	0,32
I	Período de crescimento vegetativo	0,32-1,20
II	Período de floração	1,20
III	Período de formação da colheita (Frutificação)	1,20-0,50
IV	Período de maturação e colheita	0,50

FONTE: Adaptado de Doorenbos & Kassam (1994); Doorenbos & Pruitt (1997); Bezerra (2004)

**Radiação solar ( $Q_0$ ), em equivalente de evaporação, expressa em mm dia<sup>-1</sup>**

Latitude	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
6° S	15,80	16,00	15,60	14,70	13,40	12,80	13,10	14,00	15,00	15,70	15,80	15,70
7° 13' S <sup>1</sup>	<b>15,98</b>	<b>16,06</b>	<b>15,54</b>	<b>14,52</b>	<b>13,22</b>	<b>12,56</b>	<b>12,86</b>	<b>13,82</b>	<b>14,94</b>	<b>15,76</b>	<b>15,92</b>	<b>15,88</b>
8° S	16,10	16,10	15,50	14,40	13,10	12,40	12,70	13,70	14,90	15,80	16,00	16,00

FONTE: Adaptado de Doorenbos & Pruitt (1997, FAO, 24) p.20

<sup>1</sup>Latitude de Campina Grande