

TESE DE DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processos Ambientais

TÍTULO: EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA E
RENTABILIDADE DA CULTURA DA
MAMONA IRRIGADA

AUTOR: JOSÉ MARCELO DIAS



JOSÉ MARCELO DIAS

**EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA E RENTABILIDADE DA CULTURA DA
MAMONA IRRIGADA**

ORIENTADORES

Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO

Dr. NAPOLEÃO ESBERARD DE MACÊDO BELTRÃO

Campina Grande – Paraíba
Fevereiro – 2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

**EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA E RENTABILIDADE DA CULTURA DA
MAMONA IRRIGADA**

JOSÉ MARCELO DIAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Recursos Naturais da
Universidade Federal de Campina Grande,
em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Doutor

Área de Concentração: Processos Ambientais

Linha de Pesquisa: Transferência de Calor e Massa na Biosfera

Orientadores: Dr. Pedro Vieira de Azevedo

Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA
Fevereiro – 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

D541e

2009 Dias, José Marcelo.

Eficiência de uso da água e rentabilidade da cultura da mamona irrigada / José Marcelo Dias. — Campina Grande, 2009.

120 f. : il.

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

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo, Prof. Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão.

1. *Ricinus communis*. 2. Evapotranspiração. 3. Rentabilidade.. I. Título.

CDU - 633.85(043)

JOSÉ MARCELO DIAS

EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA E RENTABILIDADE DA CULTURA DA MAMONA
IRRIGADA

APROVADA EM: 27/02/2009

BANCA EXAMINADORA

Pedro Vieira de Azevedo

Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO

Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Alzabetta S. Beltrão

Dr. NAPOLEÃO ESBERARD DE MACEDO BELTRÃO

Centro Nacional de Pesquisa do Algodão – CNPA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

José Espínola Sobrinho

Dr. JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO

Departamento de Ciências Ambientais - DCA
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA

Mário de Miranda Vilas-Boas Ramos Leitão

Dr. MÁRIO DE MIRANDA VILAS-BOAS RAMOS LEITÃO

Departamento de Engenharia Agrícola - DEAg
Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF

Clodoaldo Roque DallaJustina Bortoluzi

Dr. CLODOALDO ROQUE DALLAJUSTINA BORTOLUZI

Centro de Humanidades - CH
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA

Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

A meus pais Antônio Dias e Agripina Pessoa
(in memoriam) por terem sido o meu exemplo
de vida e por terem me ensinado o caminho
de uma vida honrada.

MINHA HOMENAGEM

A minha esposa Ivana, meus filhos
Mariana, Maria Celina e Miguel Antônio.
Com amor e afeto.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela infinita bondade...

Ao professor Dr. Pedro Vieira de Azevedo e ao pesquisador da EMBRAPA Algodão Dr. Napoleão Esberard de Macedo Beltrão, pelo incentivo, dedicação e empenho na orientação.

Ao pesquisador da EMBRAPA Algodão Dr. José Renato Cortez Bezerra, pela valiosa contribuição em todas as etapas deste trabalho, incentivo, ensinamentos e amizade. Muito obrigado.

Ao professor Dr. Bernardo Barbosa da Silva, do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG, que contribuiu substancialmente para o sucesso das atividades desenvolvidas durante a etapa experimental do estudo e pelos relevantes ensinamentos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA/Algodão) por contribuir de forma bastante expressiva através de seus recursos humanos e bens materiais, imprescindíveis para a realização deste trabalho.

À Chefia da EMBRAPA Algodão, na pessoa do Dr. Robério Ferreira dos Santos e de seus adjuntos: Dr. José Renato Cortez Bezerra, Dr. Napoleão Esberard de Macedo Beltrão e Dra. Maria Auxiliadora Lemos Barros pelo apoio incondicional e pela disposição em ajudar durante todos os momentos.

Ao Dr. José Wellington dos Santos, pesquisador da EMBRAPA Algodão pelas análises estatísticas e pelas valorosas sugestões.

À Jeane Jerônimo (Jane), estatística e doutoranda em Engenharia Agrícola e a Aninha pela grande contribuição na elaboração final deste trabalho e/ou apoio dispensado.

Aos funcionários da Embrapa Algodão em Barbalha, CE: Tarcísio, Vidal, Gildo, Ramon, José Rodrigues, José Nilson, Célio e Everaldo por toda contribuição, na forma de sugestões e/ou condução dos trabalhos de campo e, também; pela amizade e saudável convivência.

Às funcionárias do Laboratório Multidisciplinar da Embrapa Algodão Adeilva (Diva) e Edjane, pelo grande empenho nas análises de óleo e outras realizadas.

Aos funcionários da Biblioteca da Embrapa Algodão Elizabete Serrano, Lusimar, Graça, Renato Wagner e Elizabete, pela ajuda na busca e localização de material bibliográfico.

Aos colegas doutorandos em Engenharia Agrícola Sérvulo Mercier e Eliezer Siqueira pela troca de experiências, saudável convivência e amizade.

Aos colegas da EMBRAPA Algodão Antonio Tampa, Cobel, Wilson Taveira Socorro Alves e Flávio pela grande colaboração e amizade.

À minha família, representada pela minha esposa Ivana e pelos nossos filhos Mariana (12), Maria Celina (3) e Miguel Antônio (2) por existirem, entenderem meu propósito e/ou pela compreensão diante da necessidade da minha ausência.

À minha família e parentes, representados pelos meus pais Antônio Dias e Agripina (in memoriam); meus irmãos Gilberto, Gilvan (in memoriam), Josinaldo, Josiberto, Marluce e Socorro; meus tios, primos e sobrinhos, pelo apoio, compreensão, convivência e incentivo em toda minha vida.

Finalmente, meus sinceros e profundos agradecimentos a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste estudo.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas.....	ix
Resumo.....	xii
Abstract.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. A cultura da mamona – Aspectos gerais.....	4
2.1.1. Origem e distribuição geográfica.....	4
2.1.2. Botânica, morfologia e fisiologia.....	5
2.1.3. Clima e meio ambiente.....	8
2.1.4. Principais produtores e perfil de produção.....	10
2.1.5. Importância econômica, produtos e co-produtos.....	12
2.2. Aspectos da irrigação e da cultura irrigada.....	14
2.3. Medições e estimativas da evapotranspiração.....	18
2.3.1. Medições da evapotranspiração.....	21
2.3.2. Estimativa da evapotranspiração.....	21
2.4. Necessidades hídricas das culturas.....	22
2.4.1. Balanço de energia com base na razão de Bowen.....	24
2.4.2. Coeficiente de cultivo (Kc).....	28
2.4.3. Eficiência de uso de água.....	30
2.5. Análise de crescimento.....	31
2.5.1. Análise de crescimento destrutiva.....	34
2.5.2. Análise de crescimento não destrutivo.....	35
2.6. Partição de Assimilados.....	35
2.7. Eficiência econômica da cultura.....	36
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1. Cultura e área experimental.....	38
3.2. Caracterização do clima.....	39
3.3. Caracterização do solo.....	40
3.4. Etapas do estudo.....	42
3.5. Experimento 1.....	43
3.5.1. Eficiência de uso de água.....	44

3.5.2. Instalação do sistema de irrigação.....	45
3.5.3. Linha Central de Aspersores.....	45
3.5.4. Consumo hídrico da mamoneira BRS Energia.....	46
3.5.5. Balanço de energia baseado na razão de Bowen.....	46
3.5.6. Sistemática de coleta de dados e instrumentação.....	48
3.5.7. Evapotranspiração de referência (ET _o).....	49
3.5.8. Coeficiente de cultura – K _c	49
3.5.9. Análise de crescimento.....	50
3.6. Experimento 2.....	51
3.6.1. Rendimento de grãos e de óleo.....	52
3.6.2. Percentagem de óleo das sementes.....	52
3.6.3. Altura de inserção do primeiro cacho (AIPC).....	52
3.6.4. Altura de plantas e diâmetro caulinar.....	52
3.6.5. Comprimento do primeiro cacho	52
3.6.6. Número de cachos por planta e número de frutos por cacho...	53
3.6.7. Peso de 100 sementes (g).....	53
3.6.8. Análise estatística.....	53
3.7. Experimento 3.....	53
3.8 - Eficiência econômica da mamoneira, cultivar BRS Energia.....	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.1 - EXPERIMENTO 1 - 2005/2006.....	59
4.1.1. Condições climáticas e irrigações.....	59
4.1.2. Fenologia da mamoneira, cultivar BRS Energia.....	63
4.1.3. Evapotranspiração da cultura.....	65
4.1.4. Coeficiente de Cultura.....	70
4.1.5. Dados de crescimento e rendimento da cultura.....	72
4.1.6. Eficiência de uso de água pela mamoneira.....	73
4.2. EXPERIMENTO 2 – 2005.....	75
4.3. EXPERIMENTO 03 – 2006.....	86
4.4. ANÁLISE ECONÔMICA.....	104
5. CONCLUSÕES.....	103
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

LISTA DE FIGURAS

Fig.	EXPERIMENTO 01 a 03	Página
3.1	Vista do Experimento 1 em áreas de 1 hectare em 2005 (E) e 2006 (D) com detalhe para o sistema de irrigação por aspersão, Barbalha-CE.	44
3.2	Detalhe da parcela do experimento 1 realizado nos anos 2005 e 2006. Barbalha – CE.	44
3.3	Detalhe da torre micrometeorológica com o sistema de aquisição de dados (E) e do módulo de armazenamento (D). Barbalha, CE, 2005.	49
3.4	Experimento 2 detalhando a linha central de aspersores, área experimental (E) e disposição das parcelas na área (D). Barbalha, CE, 2005.	51
3.5	Detalhe da área do Experimento 3 aos 46 dias após emergência (E) e da disposição das parcelas na área (D). Barbalha, CE, 2006.	54
3.6	Experimento 3 aos 82 dias após emergência, detalhando a área com maior lâmina (E) e menor lâmina de água aplicada (D). Barbalha, CE, 2006.	54
4.1	Valores diários de temperaturas máximas, médias e mínimas do ar para os anos de 2005 (A) e 2006 (B). Barbalha, CE.	60
4.2	Variação estacional da radiação solar global (a) e da umidade relativa do ar (b) no ano de 2005 para o município de Barbalha, CE.	61
4.3	Variação estacional da velocidade do vento no ano de 2005 para o município de Barbalha, CE.	62
4.4	Variação estacional evapotranspiração de referência no ano de 2005 para o município de Barbalha, CE.	63
4.5	Evolução estacional da evapotranspiração diária da mamoneira BRS Energia, obtida pela razão de Bowen, para Barbalha CE, 2005.	65
4.6	Evolução estacional da evapotranspiração diária da mamoneira BRS Energia, obtida pela razão de Bowen, para Barbalha CE, 2006.	66
4.7	Coefficiente de cultivo da mamoneira BRS Energia. Barbalha – CE. 2005.	70

Fig.	EXPERIMENTO 02	Página
4.8.	Rendimento em grãos da mamoneira precoce em função da aplicação de diferentes lâminas de água de irrigação. Barbalha – CE, 2005.	75
4.9.	Rendimento de óleo da mamoneira precoce cv. BRS Energia em função da aplicação de diferentes lâminas de água de irrigação. Barbalha CE, 2005.	76
4.10	Altura de inserção do primeiro cacho da mamoneira precoce cv. BRS Energia em função de diferentes lâminas de água. Barbalha CE, 2005.	78
4.11	Altura de plantas de mamoneira precoce cv. BRS Energia em função de diferentes lâminas de água. Barbalha CE, 2005.	80
EXPERIMENTO 03		
4.12	Rendimento da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.	86
4.13	Número de internódios até primeiro cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.	88
4.14	Altura de inserção do primeiro cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes lâminas de água. Barbalha CE, 2006.	90
4.15	Comprimento do primeiro cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha – CE, 2006.	91
4.16	Comprimento do segundo cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.	92
4.17	Número de cachos por planta da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.	94
4.18	Número de frutos no primeiro cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.	94
4.19	Número de frutos no segundo cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.	95

4.20	Curvas ajustadas de altura média de plantas, da mamoneira cultivar BRS Energia, submetida a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2006.	96
4.21	Curvas ajustadas do diâmetro caulinar de plantas, da mamoneira cultivar BRS Energia, submetida a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2006.	98

LISTA DE TABELAS

Tab.		Pág.
3.1	Principais características da variedade BRS Energia.	39
3.2	Valores médios mensais das normais climatológicas, Barbalha, CE, 1961 – 1990.	40
3.3	Análise textural e caracterização físico-hídrica do solo da área 10B da Estação Experimental da EMBRAPA no ano de 2005 – Barbalha, CE.	41
3.4	Análise textural e caracterização físico-hídrica do solo da área 10A da Estação Experimental da EMBRAPA no ano de 2006 – Barbalha, CE.	41
3.5	Características químicas dos solos da Estação Experimental da EMBRAPA, áreas 10B e 10A, na profundidade de 0-20 cm nos anos 2005 e 2006. Barbalha - CE.	42
EXPERIMENTO 01		
4.1	Fases fenológicas da mamoneira, cultivar BRS Energia, no período de 02 de setembro a 16 de dezembro de 2005, Barbalha CE.	64
4.2	Fases fenológicas da mamoneira, cultivar BRS Energia, no período de 24 de agosto a 09 de dezembro de 2006, Barbalha CE.	64
4.3	Valores médios da evapotranspiração (ETc) da mamoneira, cultivar BRS Energia em suas diversas fases fenológicas, no período de 02 de setembro a 16 de dezembro de 2005, Barbalha, CE.	68
4.4	Valores médios da evapotranspiração (ETc) da mamoneira, cultivar BRS Energia em suas diversas fases fenológicas, no período de 24 de agosto a 09 de dezembro de 2006, Barbalha, CE.	68
4.5	Rendimento médio de grãos e percentagem de óleo para a cultura da mamona precoce irrigada nos anos de 2005 e 2006 em Barbalha, CE.	71
4.6	Altura média de plantas e diâmetro caulinar para a cultura da mamona irrigada aos 100 dias após emergência (DAE) nos anos de 2005 e 2006 em Barbalha, CE.	71
4.7	Valores dos componentes da produção número de cachos por planta (CPP), número de frutos por cacho (NFC) e peso de 100 sementes (Kg) para a cultura da mamona nos anos de 2005 e 2006 em Barbalha, CE.	71

- 4.8 Eficiência de uso de água (EUA) da mamoneira precoce irrigada cv. BRS Energia para os anos de 2005 e 2006 em Barbalha – CE. 72

EXPERIMENTO 02

- 4.9 Resumos das análises das variâncias para rendimento de grãos, rendimento de óleo (R.ÓLEO), percentagem de óleo e altura de inserção do primeiro cacho (AIPC). Barbalha, CE, 2005. 74
- 4.10 Valores de quadrado médio da análise de regressão para as variáveis rendimento de grãos e rendimento de óleo (R ÓLEO). Barbalha - CE, 2005. 74
- 4.11 Resumos das análise de variância para altura de plantas, diâmetro caulinar e comprimento do primeiro cacho (CCACHO). Barbalha - CE, 2005. 79
- 4.12 Valores de quadrado médio da análise de regressão para as variáveis altura de inserção do primeiro cacho (AIPC) e altura de plantas. Barbalha - CE, 2005. 80
- 4.13 Resumos das análises das variâncias para o número de cachos por planta (CPP), número de frutos por cacho (FPC) e peso de 100 sementes (100SEM), Barbalha, CE, 2005. 82
- 4.14 Eficiência de uso de água da mamoneira BRS Energia em resposta a diferentes quantidades de água aplicadas Barbalha, CE, 2005. 83

EXPERIMENTO 03

- 4.15 Resumos das análises das variâncias para rendimento, percentagem de óleo e número e internódios. Barbalha, CE, 2006. 85
- 4.16 Valores de quadrado médio da análise de regressão para as variáveis rendimento e número de internódios. Barbalha - CE, 2006. 86
- 4.17 Resumos das análises das variâncias para altura de inserção do primeiro cacho (AIPC), comprimento do primeiro cacho (CCACHO1) e comprimento do segundo cacho (CCACHO2). Barbalha – CE, 2006. 89
- 4.18 Valores de quadrados médios da análise de regressão para altura de inserção do primeiro cacho (AIPC), comprimento do primeiro cacho (CCACHO1) e comprimento do segundo cacho (CCACHO2). Barbalha – CE, 2006. 89
- 4.19 Resumos das análises das variâncias para número de cachos por planta (CPP), número de frutos no primeiro cacho (NFC1) e número de frutos no segundo cacho (NFC2) e peso de 100 sementes. Barbalha - 2006. 93

4.20	Valores de quadrado médio da análise de regressão para número de cachos por planta, número de frutos no primeiro cacho (NFC1) e número de frutos no segundo cacho (NFC2) e peso de 100 sementes. Barbalha – CE, 2006.	93
4.21	Altura média de plantas (cm) da mamoneira, cultivar BRS Energia, submetida a diferentes lâminas de irrigação.	96
4.22	Equações de regressão ajustada e coeficientes de determinação do diâmetro de caulinar de plantas da mamoneira submetida a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2006.	97
4.23	Diâmetro caulinar médio (cm) da mamoneira, cultivar BRS Energia, submetida a diferentes lâminas de irrigação.	97
4.24	Equações de regressão ajustada e coeficientes de determinação do diâmetro de caulinar de plantas da mamoneira submetida a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2006.	98
4.25	Custo por hectare e variação percentual do custo de produção da cultivar de mamoneira precoce BRS Energia submetido a diferentes lâminas de água de irrigação. Barbalha, CE, 2005.	99
4.26	Dados relativos aos custos independentes do tratamento (CIT _i), custos dependentes do tratamento (CDT _i), custo total (CT _i), produção obtida (PD _i), renda bruta (RB _i) e renda líquida (RL _i), relação benefício/custo (RBC), e taxa marginal de retorno (TMR) da mamoneira, cultivar BRS Energia, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.	100

EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA E RENTABILIDADE DA CULTURA DA MAMONA IRRIGADA

Resumo: O presente trabalho teve por objetivo determinar a eficiência de uso de água e a rentabilidade da cultura da mamona irrigada. Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental da EMBRAPA localizada no município de Barbalha – CE, nos anos de 2005 e 2006. A cultivar utilizada no estudo foi a BRS Energia, de ciclo precoce e porte baixo com 120 dias até a colheita, em uma área de 1 ha para os 2 anos. O consumo de água, nas diferentes fases fenológicas durante todo o ciclo da cultura, foi realizado utilizando-se o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen (Etc – BERB). O coeficiente de cultivo (Kc) foi obtido pela relação entre a (Etc – BERB) e a evapotranspiração de referência (Eto), estimada pelo método FAO-Penman-Monteith. A evapotranspiração total da cultura no ano de 2005 foi de 577,94mm, com um consumo mínimo de 47,24mm (período 12 dias) na fase inicial e um máximo de 220,93mm (35 dias) na fase IV. O ciclo da cultura da mamona foi de 106 dias. Para o ano de 2006 o consumo foi de 552,28mm. A produtividade média de grãos verificada foi de 3389 Kg.ha⁻¹ para o ano de 2005 e 3221 Kg.ha⁻¹ para 2006, com eficiência de uso de água de 0,498 e 0,474 Kg.m⁻³, para os respectivos anos. Os valores médios de Kc por fase fenológica foram de 0,73; 0,92; 1,01; 1,11 e 0,87. No ano de 2005 realizou-se um experimento com as seguintes lâminas: 403,19; 512,74; 562,36; 627,59 e 679,94mm que resultou em produtividades de grãos de 2705,83; 2930,27; 3009,72 e 3178,88 e 3361,72 Kg.ha⁻¹, respectivamente. Em 2006 foram estudadas quatro lâminas de água: 541,1; 649,7; 801,8 e 934,8mm. A produtividade máxima foi 3245,8 Kg/ha⁻¹ para 649,7mm, com rendimento superior em 17% (2773,3 Kg), 29% (2518,4 Kg) e 109% (1555 Kg.ha⁻¹), com relação às lâminas de 541,1; 801,8 e 934,8; respectivamente. No ano de 2005, constatou-se que a relação benefício/custo, aumentou a medida que se aumentou a quantidade de água aplicada, repercutindo em uma maior resposta econômica da mamoneira, cultivar BRS Energia.

Palavras-chave: *Ricinus communis*, evapotranspiração, rentabilidade.

WATER USE EFFICIENCY AND PROFITABILITY OF IRRIGATED CASTOR BEAN CULTURE

Abstract: This research had as its objective to determine the efficiency of water use and the profitability of irrigated castor bean culture. The experiments were conducted at the Experimental Station of the EMBRAPA localized in the municipality of Barbalha – in the state of Ceará, Brazil, during the years of 2005 and 2006. The cultivar used in the study was BRS Energia, of precocious cycle and low stature, with 120 days to harvest, in an area of 1 ha for 2 years. The water consumption, in the different phenological phases during all of the culture cycle, was performed by using the ratio energy balance method based on Bowen (Etc – BERB). The coefficient of harvest (Kc) was obtained by the relation between (ETc – BERB) and reference evapotranspiration (Eto), estimated by FAO-Penman-Monteith method. Total evapotranspiration of the culture during 2005 was 577.94mm, with a minimum consumption of 47.24mm (period of 12 days) in the initial phase and a maximum of 220.93mm (35 days) in phase IV. The cycle of the castor bean culture was 106 days. For 2006 the consumption was 552.28mm. The average productivity of the beans was verified at 3389 Kg.ha⁻¹ for 2005 and 3221 Kg.ha⁻¹ for 2006, with water usage efficiency at 0.498 and 0.474 Kg.m⁻³, for those respective years. The average values of Kc per phenological phase were 0.73; 0.92; 1.01; 1.11 and 0.87. In 2005 an experiment with the following depth was performed: 403.19; 512.74; 562.36; 627.59 and 679.94mm which resulted in a bean productivity of 2705.83; 2930.27; 3009.72 and 3178.88 and 3361.72 Kg.ha⁻¹, respectively. In 2006 four water depths were studied: 541.1; 649.7; 801.8 and 934.8mm. The maximum productivity was 3245.8 Kg/ha⁻¹ for 649.7mm, with a superior yield in 17% (2773,3 Kg), 29% (2518,4 Kg and 109% (1555 Kg.ha⁻¹), in relation to the depths of 541.1; 801.8 and 934.8; respectively. In 2005, it was confirmed that the relation cost/benefit increased as the quantity of water applied was increased, reflecting in a greater economic response from the castor bean cultivar BRS Energia.

Key words: *Ricinus communis* (castor beans), evapotranspiration, profitability.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem o privilégio de explorar economicamente a sua bioenergia, a obtenção de energia a partir da matéria vegetal, que por razões de territorialidade e clima torna-se abundante em nosso país. Neste sentido, a utilização de matérias-primas produzidas pela agricultura para fins energéticos deve ser vista como um elemento importante na solução de vários problemas contemporâneos, como por exemplo, o êxodo rural, através da geração de emprego e renda no campo e a redução da poluição atmosférica, e não de um ponto de vista simplista que coloca em oposição a produção de alimentos e a de biocombustíveis.

Das espécies vegetais, a mamoneira (*Ricinus communis*, L.), com um teor de óleo de aproximadamente 48%, apresenta boas perspectivas para transformação em biodiesel. Segundo Parente (2007), a produção e o consumo do biodiesel no Brasil tem feições regionais quanto às vocações agrícolas, no Semi-árido nordestino, a motivação concentra-se na erradicação da miséria no campo e a vocação atual é a mamona.

A cultura, reconhecida como uma das mais versáteis, rentáveis e promissoras, do ponto de vista da indústria e da bioenergia, apresenta potencial para gerar milhares de empregos no campo e tem sido inserida em programas governamentais de diversos estados brasileiros.

A mamoneira é um arbusto de cujo fruto se extrai um óleo de excelentes propriedades, de largo uso como insumo industrial. Da industrialização da mamona, obtém-se, como produto principal, o óleo, como subproduto, a torta de mamona que possui a capacidade de recuperar áreas com a fertilidade degradada, além de ser usada também para o controle de nematóides do solo (MELO *et al.*, 2003). A cultura apresenta grande potencial de cultivo no Brasil, particularmente na região Nordeste que segundo levantamento realizado pela Embrapa, dispõe de mais de 4,5 milhões de hectares de terras com aptidão para a exploração econômica desta cultura. É exatamente nesta região, especialmente no Estado da Bahia, onde o cultivo dessa oleaginosa tem se concentrado, com mais de 90% da área cultivada no Brasil, onde os sistemas de produção existentes e utilizados pelos produtores são bastante precários e com pouca evolução (EMBRAPA, 1997).

Cultivada tradicionalmente no semi-árido brasileiro em condições de sequeiro, principalmente no estado da Bahia, maior produtor nacional, a

mamoneira tem relevante importância social e econômica, principalmente para a agricultura familiar. Além da área de sequeiro, o cultivo da mamona poderá ocupar espaços como contribuição de safrinhas em sucessão de culturas e com colheita mecanizada ou em sistemas de rotação de culturas em áreas irrigadas, com a possibilidade de se obter elevadas produtividades. Para a obtenção de altos rendimentos e maior eficiência no uso de água, faz-se necessário o conhecimento das necessidades hídricas da cultura da mamoneira, de modo a oferecer às plantas, a quantidade de água necessária no momento oportuno, uma vez que a umidade condiciona os processos metabólicos e fisiológicos das plantas.

A grande demanda por informações sobre a cultura da mamona; a necessidade de diversificação do sistema produtivo e de desenvolver soluções tecnológicas; a possibilidade de se dar condições tributárias favoráveis; o potencial agrônomo da espécie e a resistência à seca; tornam necessários estudos para melhorar os níveis de produtividade da cultura e viabilizar seu cultivo para a produção de biodiesel. Neste sentido, o conhecimento da resposta da cultura às condições de umidade do solo e demanda evaporativa da atmosfera são os elementos básicos para um manejo adequado da irrigação (ANDRADE JÚNIOR, 1992).

A mamoneira para se desenvolver, crescer e produzir satisfatoriamente necessita de suprimento hídrico diferenciado nas suas fases fenológicas e requer manejo compatível com sua capacidade de retirada de água na zona padrão de ocupação das raízes, evitando desperdícios de água e saturação do perfil do solo na área de cultivo (BARRETO, 2004). Portanto, o conhecimento da evapotranspiração (necessidade hídrica) da cultura e do coeficiente de cultivo, durante seu ciclo, é de grande importância para otimização da lâmina de irrigação, assegurando uma melhor eficiência no uso de água pela cultura.

A aplicação do método do balanço de energia na estimativa do consumo hídrico de áreas que têm coberturas vegetadas tem sido uma prática intensiva em muitos institutos de pesquisa e universidades em diferentes países. No Brasil, alguns estudos (ÁVILA NETO, 1997; LOPES, 1999; TEIXEIRA et al., 2001; MOURA, 2001; SOARES, 2003; RODRIGUES, 2003; MOURA, 2005; BEZERRA, 2007) têm feito uso do método razão de Bowen na estimativa da evapotranspiração de culturas e outras superfícies vegetadas.

Para a determinação dos requerimentos climáticos de uma cultura, há necessidade de que os estudos agroclimáticos sejam feitos juntamente com os estudos fenológicos, sendo que o último relaciona o fenômeno periódico da vida da planta com uma série de estimativas quantitativas dos elementos ambientais. O conhecimento das necessidades hídricas da mamoneira é um requisito fundamental para aproveitar o período chuvoso das regiões e de acordo com Barreto (2004), importante para a agricultura irrigada já que, associados aos demais fatores de produção, permite ao irrigante a obtenção de altas produtividades, com máxima economia de água.

São poucas as informações sobre a cultura da mamona irrigada e especialmente com a cultivar de ciclo precoce - BRS Energia. Neste sentido, há uma demanda para se determinar sua eficiência de uso de água e para estudá-la em condições de excesso e déficit hídrico. Portanto, considerando-se os escassos estudos relacionados ao cultivo desta oleaginosa em sistema de irrigação e, por tratar-se de uma cultura que pode apresentar relevante importância social e econômica para o país, especialmente para a região Nordeste, a presente pesquisa visou alcançar os seguintes objetivos:

GERAL: Determinar a eficiência de uso de água, crescimento, desenvolvimento e rentabilidade da cultura da mamona irrigada nas condições climáticas do Cariri cearense.

Específicos:

1. Estimar as necessidades hídricas da mamoneira em cada fase fenológica, com base na evapotranspiração diária da cultura;
2. Determinar a eficiência de uso de água das plantas em resposta a diferentes lâminas de água aplicadas;
3. Determinar a partição vegetativa da matéria seca a cada 20 dias durante o cultivo;
4. Caracterizar as fases fenológicas da cultivar BRS Energia durante o ciclo da cultura;
5. Avaliar a eficiência econômica da mamoneira precoce para diferentes quantidades de água de irrigação.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - A cultura da mamona – Aspectos gerais

2.1.1 - Origem e distribuição geográfica

O continente asiático, segundo alguns estudiosos, é tido como provável centro de origem da mamoneira, ao passo que outros consideram a África intertropical. Atualmente a hipótese mais aceita é que esta cultura seja originária do Nordeste da África, possivelmente da Etiópia, antiga Abissínia (HEMERLY, 1981; VEIGA, et al., 1989; SAVI FILHO, 1996; LORENZI, 2000; BELTRÃO et al., 2001; OLSNES, 2004).

Para Weiss (1983), a origem da mamona não é bem definida e uma das razões é a facilidade e rapidez com que se estabelece como planta nativa. Ela é cultivada na maioria dos países com climas tropicais e subtropicais e em alguns casos nos de clima temperado onde apresenta crescimento reduzido (DUKE, 1983).

A dificuldade em se determinar com precisão a origem da mamoneira decorre do fato de sua ampla adaptação as mais distintas condições climáticas, uma vez que apesar de ser uma cultura de regiões predominantemente quentes, é encontrada em locais com clima ameno (WEISS, 1971).

A distribuição geográfica da mamoneira é extensa, sendo encontrada em estado espontâneo ou cultivada, em quase todas as zonas tropicais e subtropicais. No Brasil é cultivada desde o Amazonas até o Rio Grande do Sul, embora seja cultivada desde o paralelo 40° norte ao paralelo 40° sul, com intervalos de altitude de 300-1500m acima do nível do mar. Com características de cultura resistente à seca, a mamoneira expressa rendimento máximo com precipitação de 600-700 mm distribuídas principalmente em seu estágio vegetativo. Há, no entanto, informações de boas produções obtidas na África do Sul, com precipitações pluviais de 370-500 mm (WEISS, 1983).

No Brasil, a introdução da cultura se deu durante a colonização portuguesa, por ocasião da vinda dos escravos africanos (MAZZANI, 1983). Por se tratar de uma planta tolerante à seca e exigente em calor e luminosidade, está disseminada por quase todo o Nordeste, cujas condições climáticas são adequadas ao seu desenvolvimento. O estado da Bahia, segundo CONAB (2003),

é responsável por mais de 90% da produção nacional.

Atualmente o seu cultivo também está difundido nos países de clima temperado, onde tem o seu crescimento e desenvolvimento limitado pelas condições ambientais, em especial, temperatura e luminosidade, que são componentes primordiais ao bom desempenho da mamoneira. Apesar disso, existem áreas cultivadas na Rússia, Grécia, Itália, França dentre outros países com clima ameno característico (SOUZA, 2007).

No contexto nacional, a Região Nordeste é a principal produtora de mamona, sendo responsável por mais de 90% da produção Nacional. Entretanto, essa cultura pode ser cultivada em várias regiões do País, encontrando-se plantios comerciais nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Ambientes com altas precipitações e muito úmidos, como a Amazônia e o Pantanal, não são adequados para o plantio da mamona (SEVERINO et al. 2006).

2.1.2 - Botânica, morfologia e fisiologia

A mamoneira pertence à classe Dicotiledoneae, ordem Geraniales, família Euphobiaceae, gênero *Ricinus* e espécie *R. communis* L. No Brasil, é conhecida sob as denominações de mamoneira, rícino, carrapateira e palma-de-cristo; na Inglaterra e Estados Unidos da América pelos nomes de "castor bean" e "castor seed" respectivamente. Entre seus parentes mais próximos estão a mandioca, a borracha e o pinhão (WEISS, 1983).

As plantas desta espécie têm grande variabilidade em diversas características, como hábito de crescimento, cor das folhas e do caule, porte, cor e teor de óleo nas sementes, dentre outras. Podem-se, portanto, encontrar tipos botânicos com porte baixo ou arbóreo, ciclo anual ou semiperene, com folhas e caule verde, vermelho ou rosa, com presença ou não de cera no caule, com frutos inermes ou com espinhos deiscentes ou indeiscentes, com sementes de diferentes tamanhos e colorações e diferentes teores de óleo (SAVY FILHO, 1996)

A planta é um fitossistema de elevado nível de organização morfológico, com forte e penetrante sistema radicular, atingindo profundidades até três metros (POPOVA & MOSHKIN, 1986). Em regiões semi-áridas, a taxa de crescimento da raiz é maior que a da parte aérea, o que demonstra que a planta fortalece primeiro o seu sistema de fixação e de absorção para que possa suportar o

desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. Isso acontece em menor grau nas áreas onde a precipitação atinge níveis razoáveis (SAVY FILHO, 1996).

É uma espécie de elevada complexidade morfológica e fisiológica (BELTRÃO; SILVA, 1999), variando muito em seu hábito de crescimento, cor da folhagem e do caule, e na coloração e teor de óleo da semente. Desse modo, as cultivares são por vezes muito distintas entre si (TÁVORA, 1982). Possui crescimento indeterminado consistindo de uma série de caules ou ramos encerrados por um racemo, numa disposição simpodial que lhe é peculiar. Produz em média três importantes ordens de racemos denominados de primários, secundários e terciários, que são expostas a diferentes condições ambientais que influenciam significativamente a participação de cada uma delas na produtividade total da cultura (USDA, 1960; VIJAYA KUMAR et al., 1997).

No território brasileiro ocorre espontaneamente em muitas áreas e possui porte variado. Mas sob cultivo apresenta hábito de crescimento arbustivo com muitas colorações de caule, folhas e racemos, podendo ainda possuir cera no caule e pecíolo (RODRIGUES, et al, SAVY FILHO, 2004). O porte é comumente classificado em: anão e normal, sendo este último subdividido em médio, alto e arbóreo. No Brasil, as cultivares de mamonas utilizadas em cultivos comerciais possuem altura que varia de 1 a 4 metros (TÁVORA, 1982).

O sistema radicular é pivotante e fistoloso podendo atingir até 3 metros de profundidade, se não houver impedimentos físicos; as raízes laterais são bem desenvolvidas e situam-se a poucos centímetros da superfície do solo (TÁVORA, 1982; CARVALHO, 2005). O ambiente tem grande influência no crescimento do sistema radicular. Em condições de pouca disponibilidade hídrica ele se desenvolve a grandes profundidades, com as raízes laterais explorando um grande volume de solo. Sob irrigação ou em condições de elevada disponibilidade de umidade, o sistema radicular é menos desenvolvido e mais compacto (TÁVORA, 1982). Acredita-se que as raízes deixadas no solo após a colheita podem contribuir com a melhoria das propriedades físicas, por formarem galerias que favorecem a aeração e a infiltração de água no solo.

Trata-se de uma planta monóica, a inflorescência é uma panícula terminal e recebe o nome de racemo, apresentando flores femininas na parte superior e masculinas na porção inferior da raque. Ocasionalmente pode ocorrer uma distribuição irregular ou dispersa das flores ao longo do racemo. Algumas plantas

podem conter inflorescências totalmente pistiladas, ou seja, apenas flores femininas (USDA, 1960; CARVALHO, 2005). A proporção de flores masculinas e femininas varia grandemente, em geral as masculinas constituem de 50 a 70%. Entretanto, podem ocorrer variações, de 0% até 95% de flores masculinas (TÁVORA, 1982). Embora, seja considerada uma planta autógama, a taxa de alogamia pode chegar a 40% com polinização feita pelo vento; cada flor tem potencial para produzir até 60 mil grãos de pólen (BELTRÃO et al., 2001).

O racemo principal ou primário é o maior de todos e possui a maior quantidade de frutos, via de regra, apresenta conformação cônica ou cilíndrica, comprimento entre 10 e 80 cm, e número de frutos variando entre 15 e 80 dependendo do ambiente, cultivar ou da ordem considerada. Cumpre esclarecer que como há grande variação na distância entre os frutos no racemo, não existe correlação entre o comprimento e o número de frutos do cacho (TÁVORA, 1982).

Necessita de dias longos com fotoperíodo de pelo menos 12 horas de luz por dia para produzir satisfatoriamente, sendo considerada uma espécie heliófila, apesar de se adaptar a diferentes "*comprimentos de dia*", mas com reflexos negativos no crescimento e produtividade. Com menos de 9 horas de luz por dia, o crescimento e a taxa fotossintética tendem a reduzir (WEISS, 1983; VIJAYA KUMAR et al., 1997; SILVA et al., 2000; BELTRÃO et al., 2003).

Daí et al., (1992), estudaram os efeitos do déficit de pressão de vapor de água (DPV) sob as características fisiológicas da mamoneira e verificaram que a assimilação de CO₂ e a condutância estomática reduzem grandemente com o aumento do déficit de pressão de vapor e com temperaturas acima de 40°C, as quais favorecem ao aumento da taxa de fotorrespiração. O contrário acontece em baixo DPV com temperatura de até 30°C, alta luminosidade e elevada concentração de CO₂. Em tais condições a mamoneira apresenta taxa fotossintética superior a outras plantas C3, como o tabaco e C4, a exemplo do milho, cultivadas nas mesmas condições. Tais evidências, explicam parcialmente o bom desempenho desta cultura nas condições climáticas nordestinas, especialmente, quando a água não constitui fator limitante. Os autores ainda ressaltam que dentro de certos limites de temperatura, intensidade luminosa e concentração de CO₂ elevadas, a taxa fotossintética da mamona eleva-se consideravelmente, com reflexos positivos na produtividade de grãos, desde que o suprimento hídrico seja adequado.

A planta apresenta fotossíntese líquida igual a zero numa atmosfera de 50 a 100 ppm de CO₂, sendo seu metabolismo de carbono pouco eficiente em relação às culturas e classificado como C₃, tendo normalmente taxa de fotossíntese variando de 18 a 27 mg de CO₂/dm²/hora com atmosfera de 300 ppm de CO₂ (D'YAKOV, 1986). A taxa assimilatória líquida da mamoneira é baixa, sendo de 6,5 a 6,9 g/m²/dia, devido à intensa respiração global das folhas (respiração oxidativa e fotorrespiração) e à baixa eficiência fotossintética (D'YAKOV, 1986).

2.1.3. Clima e meio ambiente

A mamoneira cresce e floresce sob uma ampla extensão de condições climáticas, embora sua habilidade para produzir satisfatoriamente seja limitada pela incidência de excessos de umidade, frio intenso ou temperaturas muito elevadas durante o florescimento. Dentre os estádios de desenvolvimento, o período reprodutivo é o mais afetado e o que mais limita a produtividade da cultura, quando as condições ambientais são desfavoráveis. É uma planta que cresce bem desde o nível do mar até altitudes superiores a 2.000 metros. Mesmo assim, áreas com altitudes entre 300 e 1.800 metros parecem ser as mais favoráveis, apesar de outros fatores, como a classe de solo, comprimento da estação de crescimento, temperatura e disponibilidade de umidade no solo, influenciarem na seleção de áreas para o cultivo (USDA, 1960; WEISS, 1971; WEISS, 1983).

Segundo AMORIM NETO et al. (2001), a mamona requer clima tropical, com temperatura média do ar entre 20 e 30 °C, altitude entre 300 a 1500 m e precipitação de pelo menos 500 mm no ciclo da cultura para produzir entre 1,0 a 1,5 t de baga/ha em regime de sequeiro, para as cultivares de ciclo médio de 230 dias, disponíveis na atualidade, como a BRS 149 Nordestina e a BRS 188 Paraguaçu, sintetizadas pela EMBRAPA e seus parceiros, como a EBDA (Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola).

Para FORNAZIERI JÚNIOR (1986), o clima propício para a cultura é o quente e úmido, chuvoso na fase de desenvolvimento cultural e seco na época da colheita, condições próprias das regiões tropicais. Como é uma planta predominantemente tropical, sua produção e rendimento dependem mais do que

qualquer uma outra cultura das condições ambientais. Quando falta umidade no solo, mesmo que seja na fase de maturação dos frutos, as sementes têm pouco peso e baixo teor de óleo, mesmo tratando-se de variedades produtivas, que podem ser observadas por ocasião das secas. Isto não significa que a planta possa ser cultivada em terrenos sujeitos à alagamentos ou má drenagem, pois a planta é bastante sensível ao excesso de água. Segundo o autor, concluiu-se através de experiências, que o teor de óleo das sementes é proporcional à soma de calor recebido pela planta em todo o seu ciclo vegetativo.

Ao se iniciar o período em que os frutos começam a ficar maduros, é desejável que as chuvas sejam mais espaçadas, contribuindo para um melhor processo de maturação. Os períodos de seca prolongados após a germinação são sempre perigosos ocasionando não somente irregularidades no desenvolvimento, como também em muitos casos, o definhamento das plantas ainda não completamente desenvolvidas (CRIAR E PLANTAR, 2003).

A planta é considerada rústica, de boa capacidade de adaptação, xerófila e heliofíla (AMORIM NETO et al., 2001), necessitando de precipitações regulares na sua fase vegetativa e de períodos secos na fase de maturação dos frutos (SEARA, 1989), sendo que o excesso de umidade é prejudicial em qualquer período da lavoura, sendo mais críticos os estádios de plântula e de colheita (AZEVEDO et al., 1997).

Trata-se de uma planta tipicamente tropical, apesar do cultivo ter se intensificado fora dos trópicos. Sua produção e rendimento, dependem grandemente das condições ambientais, sendo os elementos climáticos precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar, associados à altitude, os fatores que mais contribuem para que a cultura exerte o seu máximo potencial genético em termos de produtividade (SILVA, et al., 2000; SAVY FILHO, 2004).

Além do fotoperíodo, a umidade do solo e a quantidade de graus dias afetam o rendimento total da cultura, tendo efeito diferenciado em cada ordem de racemo. A altura das plantas também é muito influenciada pelo ambiente (MOSHKIN, 1986; OPLINGER et al., 1997; VIJAYA KUMAR et al., 1997).

A faixa ideal de precipitação para a mamona produzir satisfatoriamente situa-se entre 750 mm e 1.500 mm, com um mínimo de 600 mm a 750 mm durante o ciclo cultural; de preferência a época de plantio deve ser ajustada para

que a planta receba de 400 mm a 500 mm até o início da floração (TÁVORA, 1982). A falta de água no solo, mesmo que na fase de maturação dos frutos, implica em sementes com baixo peso e teor de óleo (HEMERLY, 1981).

SEVERINO et al. (2006) avaliando a produtividade e o teor de óleo de dez genótipos de mamoneira em altitude inferior a 300 metros e observaram, produtividades de até 2.583,9 kg ha⁻¹ e teor de óleo na semente de 48,6 %, para a cultivar "BRS 149 Nordestina". Diante disso, concluíram que tanto o rendimento como o teor de óleo das sementes foram satisfatórios, apesar dos cultivos serem realizados em locais de baixa altitude.

Para Silva et al., (2000), a mamona produz bem em qualquer classe de solo, com exceção daqueles muito argilosos, e salientam que solos muito férteis favorecem o crescimento vegetativo excessivo, prolongando o período de maturidade e expandindo a floração.

AZEVEDO et al. (2001) também afirmam que a mamoneira de porte médio, quando cultivada em solos férteis, apresenta crescimento vegetativo exuberante, podendo atingir altura superior a 3,0 metros, o que dificulta a colheita e a execução dos tratos culturais. Apesar disso, HEMERLY (1981) salienta que uma das causas do baixo rendimento da mamoneira no Brasil é a utilização de solos de baixa fertilidade natural, além da pouca adoção de práticas mais racionais de preparo, adubação e correção da acidez do solo.

Os melhores solos para a exploração da mamoneira são os profundos, bem drenados, de textura média, ricos em matéria orgânica, férteis sem problemas de salinidade, com pH entre 6,0 e 6,5 e relevo variando de plano a suavemente ondulado, livres de erosão (USDA, 1960; OPLINGER et al., 1997; CARVALHO, 2005).

2.1.4. Principais produtores e perfil de produção

Os três maiores produtores mundiais de óleo de mamona são: a Índia, a China e o Brasil, participando, em 2001, com 92% da produção mundial. Os três maiores importadores mundiais são a França, os Estados Unidos e a China. O Brasil aparece como segundo maior exportador mundial, mas a uma grande distância da Índia que, em 2001, participou com 85% das exportações mundiais (SANTOS & BARROS, 2003).

De acordo com Carvalho et al. (2002), a mamona é cultivada comercialmente em mais de 15 países. O Brasil já foi um dos maiores produtores mundiais de mamona ao lado da Índia, de alguns países pertencentes à antiga URSS e da China e maior exportador de seu óleo.

Na safra de 1974 foram produzidas, aproximadamente, 573 mil toneladas de mamona. Já em 1996 a produção nacional foi de apenas 122 mil toneladas, o que representou uma redução líquida de 79%. Apesar de sua importância, o Brasil sofreu reduções drásticas da área cultivada nas últimas décadas. No período de 1984 à 1996 a área cultivada foi reduzida de 485 mil para 193 mil hectares (LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA, 1996). A Bahia é o estado que ocupa a posição de líder isolado da produção nacional e teve uma estimativa de área plantada, para a safra 2003/2004, de acordo com a CONAB (2004), de 148,3 mil ha, correspondendo a 92% de toda a área plantada de mamona com Brasil.

A diminuição da produção brasileira ocorreu devido a uma série de fatores estruturais e conjunturais, internos e externos, que levaram à redução significativa na área plantada e no volume da produção. O mercado para a ricinoquímica é pequeno e oligopsônico - estrutura de mercado em que o número de compradores é bem pequeno - no Brasil, de forma que qualquer pequeno excesso de oferta causa grande queda no preço (AZEVEDO; LIMA, 2001).

No Brasil depois de sucessivas reduções de produção e área cultivada, a ricinocultura sofreu uma sensível recuperação nas safras 2004 e 2005. Nestes anos, a área plantada no país representou respectivamente 14% e 15% do total mundial, e a produção correspondeu a 11% e 13% do montante produzido mundialmente (SANTOS; KOURI, 2006). Num breve retrospecto da mamonocultura nacional nos últimos três anos, vê-se que houve um aumento na produção da ordem de 48%, em 2003 o país produziu 83.682 toneladas e em 2005 quando a produção foi de 161.468 toneladas (IBGE, 2006).

Mesmo com esta recuperação verificada a partir de 2004, o Brasil ainda importou neste ano 9.644 toneladas de mamona, que representou 41% das importações mundiais desta *commodity*. Esta situação pode ser explicada pelo fato de a produção interna ainda estar aquém da capacidade de processamento das principais indústrias de óleo de mamona instaladas no país, que é de

aproximadamente 440 mil toneladas/ano de grãos de mamona, e com perspectiva de aumento nos próximos anos (SAVY FILHO, 2005)

2.1.5. Importância econômica, produtos e co-produtos

A cultura da mamoneira apresenta-se como uma alternativa de grande importância econômica e social ao semi-árido nordestino, pois devido às suas características, tem capacidade de produzir relativamente bem até em condições de baixa precipitação pluviométrica, além de ter um bom mercado consumidor. Pode ser consorciada com outras culturas, tornando-se assim uma excelente opção para a agricultura familiar desta região (BELTRÃO et al., 2003).

Um estudo elaborado pela Secretaria de Agricultura e Irrigação do Estado do Ceará, em parceria com a TECBIO, concluiu que o agronegócio da mamona para fins energéticos tem a capacidade de erradicar a miséria rural nordestina, onde mais de 2 milhões de famílias convivem com a fome. Um hectare pode produzir mais de 1.000 litros por ano de Biodiesel, ao mesmo tempo em que gera renda complementar suficiente para eliminar a desnutrição dos ricinocultores. Sua torta, 53% do peso do grão, é adubo, por excelência, com a capacidade, inclusive, de eliminar as doenças do solo (nematóides), fator deveras importante para a agricultura (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2003).

Devido à extraordinária capacidade de adaptação e a multiplicidade de aplicações industriais do óleo de suas sementes, a mamoneira inclui-se entre as oleaginosas tropicais de maior valor econômico e estratégico na atualidade (HEMERLY, 1981). Possui potencial capaz de fomentar o crescimento da economia do semi-árido nordestino, tanto como cultura alternativa, com características de resistência à seca, tanto como fator fixador de mão-de-obra, gerador de emprego no campo e de matéria-prima para a indústria (AZEVEDO et al., 1998).

De uma lavoura bem conduzida pode-se incorporar ao solo entre 15 e 26 toneladas por hectare de restos vegetais (GONÇALVES, et al., 1981; AZZINI et al., 1984; KHALIL, 2003). Suas folhas podem ser adicionadas à alimentação de bovinos e do bicho-da-seda, e de seu caule podem ser extraídas fibras para a confecção de tecidos grosseiros ou papel (AZZINI et al., 1981; AZZINI et al., 1984).

Do ponto de vista industrial o óleo, que é o seu principal produto, é um dos mais versáteis da natureza, de utilidade só comparável a do petróleo, com a vantagem de ser renovável. Embora impróprio para o consumo humano, é matéria-prima para mais de quatrocentos produtos, sendo usado nas indústrias farmacêutica, cosmética, alimentícia, de revestimentos protetores, vernizes e tintas, ceras impermeabilizantes, de lubrificantes e outras (AZZINI et al., 1981; VIJAYA KUMAR et al., 1997; AZEVEDO et al., 1998; AMARAL, 2003).

Da industrialização da mamona obtém-se, como produto principal, o óleo e, como subproduto, a torta de mamona que possui, enquanto fertilizante, a capacidade de restauração de terras esgotadas (MATOS, 2007). É relatado o seu uso em diversas áreas como aditivo alimentar e película protetora em cápsulas de remédios; ornamental, alimento de bicho-da-seda, lubrificante industrial, medicina popular.

A utilização do óleo em forma de biodiesel trás uma série de vantagens ambientais, econômicas e sociais. Estudos demonstram que a substituição do óleo diesel mineral pelo biodiesel resulta em reduções de emissões de 20% de enxofre, 9,8% de anidrido carbônico, 14,2% de hidrocarbonetos não queimados, 26,8% de material particulado e 4,6% de óxido de nitrogênio (CONCEIÇÃO et al., 2004).

O mercado do uso do óleo na ricinoquímica é pequeno, porém com os problemas ocasionados pelo uso contínuo de petróleo que poderão incrementar muito a temperatura média do planeta, além de excesso de CO² na atmosfera, o mundo nos últimos dois anos despertou para uso da biomassa, que não polui o ambiente e pode gerar milhões de empregos, tendo também grande apelo social. Por sua resistência a seca e qualidade do óleo, a mamoneira produz um biodiesel com 15% de oxigênio, que poderá ser grande alternativa para o Brasil produzir energia limpa (EMBRAPA, 2003).

A torta de mamona que é o subproduto da prensagem das sementes para obtenção do óleo, presta-se como adubo orgânico e também é empregada na alimentação animal depois de desintoxicada. No passado as sementes da mamoneira foram utilizadas extensivamente na medicina popular, contra grande variedade de enfermidades e também para propósitos criminosos devido aos princípios tóxicos nelas presentes (OLSNES, 2004).

Os co-produtos da mamoneira têm amplo espectro de utilização, sendo usado 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 como no caso da aviação. Na medicina têm sido utilizadas suas qualidades purgativas (AZEVEDO et al., 1997).

2.2. Aspectos da irrigação e da cultura irrigada

A disponibilidade de recursos hídricos, com elevada porcentagem de terras agricultáveis, confere ao Brasil um dos maiores potenciais do mundo para o desenvolvimento da agricultura irrigada, no entanto, o quadro que se apresenta é bem diferente. Em um índice estabelecido pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) para relacionar a área atual de agricultura irrigada e a área potencialmente irrigável, ficou demonstrado que o Brasil ocupa somente a 22ª colocação da América, num total de 27 países (TESTEZLAF et al., 2002).

A quantificação da evapotranspiração requer alguns conhecimentos como: a fisiologia das plantas, manejo dos recursos hídricos e a avaliação ambiental, pois quando a demanda evaporativa excede a precipitação, a qualidade e o crescimento das plantas são desfavoravelmente afetados pela deficiência hídrica do solo. Em algumas áreas, a prática da irrigação tem como função suplementar a precipitação natural e assim, minimizar as perdas na produtividade das culturas devido ao déficit de água no solo (SHARMA, 1985).

Segundo Amorim Neto (1995), sendo a irrigação a principal atividade humana consumidora de água e, considerando o aumento dos custos com energia, além da concorrência pelos recursos hídricos e energéticos entre os setores industrial, urbano e agrícola, torna-se importante a realização de estudos para definir quando e quanto irrigar, visando atender às necessidades hídricas das plantas de maneira racional. O manejo eficiente da irrigação permitirá, além da economia dos recursos hídricos e energéticos, a otimização do uso dos insumos agrícolas e maiores retornos econômicos e a viabilização do aumento da área irrigada no país.

A área total de solos utilizados com lavouras permanentes e temporárias no Brasil gira em torno de 65,2 milhões de hectares, com apenas 5% de agricultura irrigada, que representa aproximadamente 3,2 milhões de hectares. Os especialistas estimam que existem solos aptos para expansão e desenvolvimento anual de agricultura de sequeiro, em bases sustentáveis, em torno de 110 milhões de hectares no país, dos quais, aproximadamente, 72% estão localizados na área do Cerrado. No que diz respeito aos solos aptos para o desenvolvimento da agricultura irrigada de forma sustentável o potencial brasileiro está estimado em aproximadamente 30 milhões de hectares, dos quais, mais de dois terços ocorrem nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (CHRISTOFIDIS, 2002).

Na elaboração de um projeto de irrigação por aspersão, uma boa uniformidade de aplicação de água só é assegurada quando são conhecidas as características de distribuição de água dos aspersores. A uniformidade é um dos parâmetros que refletem a qualidade da irrigação, sendo que este termo refere-se aos parâmetros de desempenho associados à variabilidade da lâmina de irrigação (FRIZZONE, 1997). De acordo com o referido autor, a uniformidade é uma grandeza que caracteriza todo o sistema de irrigação e intervém no seu projeto, tanto agrônomo, pois afeta o cálculo da quantidade de água necessária para irrigação, quanto no hidráulico, pois em função dela, define-se o espaçamento dos emissores de água, a vazão do sistema e o tempo de irrigação.

Keller & Bliesner (1990), relatam que vários fatores podem influenciar na uniformidade de distribuição de água, destacando-se: a pressão de serviço, o diâmetro do bocal, o espaçamento entre aspersores, e fatores variáveis como velocidade e direção do vento.

A linha central de aspersores tem sido satisfatoriamente, utilizada para a aplicação de um gradiente contínuo de água, na direção de sua transversal, em experimentos que visam estudar o efeito da irrigação sobre as culturas. Este sistema é bastante útil para o desenvolvimento de resposta das culturas, segundo (Hanks et al., 1976; Miller & Hang, 1980; Engel, 1991), permitindo a redução da área de ensaio, quando comparado com os sistemas tradicionais, além de ser econômico, de fácil instalação e operação.

O funcionamento deste sistema possibilita a introdução de outras variáveis dentro das parcelas de água, seguindo uma disposição casualizada (MELLO JÚNIOR, 1992).

Este sistema tem sido utilizado em diversos estudos sobre lâminas de irrigação contribuindo grandemente para a determinação de funções de produção das culturas para o fator água. Constitui-se de uma linha de aspersores estreitamente espaçados entre si, aplicando água em doses decrescentes na direção perpendicular à tubulação (MENDONÇA et al., 1999).

Hanks et al., (1976), citam que esse tipo de sistema apresenta uma uniformidade adequada de distribuição de água, com aspersores espaçados de aproximadamente 20% de seu diâmetro molhado, e que a variação de pressão entre o início e o final da linha não deve ser maior que 1 %. Willardson et al. (1987) verificaram que esta uniformidade é maior nas menores distâncias relativos a linha central e que menores espaçamentos entre aspersores melhoram a uniformidade de aplicação longitudinal.

O efeito do vento sobre o sistema é de extrema importância, pois sua ação altera completamente a distribuição de água. Gomide et al., (1991), não verificaram distorções significativas no perfil de distribuição de água, considerando ideal, situações onde a velocidade do vento não ultrapasse 1m.s^{-1} .

Segundo Mello Júnior (1992), devido a alta taxa de aplicação de água nas áreas próximas à linha de aspersores, eventuais acúmulos de água superficial podem ocorrer, possibilitando a ocorrência de deflúvio.

Para Doorembos & Pruit (1997) é necessário prever os programas de irrigação durante a fase de planejamento, com base no balanço hídrico mensal e na escolha do nível de esgotamento de água disponível, de acordo com o tipo da cultura e os dados do solo.

Tendo-se água sob controle e de boa qualidade, deve-se usar, racionalmente, os demais fatores de produção e insumos para que a produtividade da cultura da mamona seja elevada, superior a 3,5t de baga/ha e, de preferência, superior a 5,0 t de baga/ha. Deve-se escolher áreas de altitude superior a 300m, temperatura média do ar entre 20 a 30°C, solo de textura média ou arenosa, corrigido, fertilizado com NPK e micronutrientes e com equilíbrio entre os nutrientes para evitar antagonismo e competição iônica. Em geral os híbridos anões respondem melhor à irrigação, porém se deve ter em mente sua capacidade em resistir às doenças e pragas. No Brasil existem alguns tipos híbridos em circulação, como os cultivados no cerrado do Mato Grosso como a Savana, Cerradinho e outros (BELTRÃO, 2004).

Para Ribeiro Filho (1966), a mamoneira é bastante exigente no tocante à umidade do solo, em especial no período de enchimento dos frutos, podendo-se usar diversos métodos de irrigação, desde a infiltração a aspersão. Hoje, pode-se lançar mão do gotejamento, que traz economia no uso da água e incremento da eficiência da irrigação. Este autor diz, ainda que, dependendo do solo, a quantidade de água a ser utilizada é em torno de 40 mm/15 dias com no máximo 70% de sua água disponível máxima consumida.

A destacada resistência à seca, característica que tornou a mamoneira uma importante alternativa para cultivo na região semi-árida do Brasil, contrasta com sua extrema sensibilidade ao encharcamento do solo, condição que prejudica sensivelmente seu cultivo e tem reflexos sobre a produtividade da lavoura. Segundo Hemerly (1981), as plantas são sensíveis ao excesso de umidade por períodos prolongados, em especial, na fase inicial e na frutificação.

Em outros experimentos realizados por KOUTROUBAS et al. (2000), em condições de clima mediterrâneo, utilizando duas cultivares de mamona irrigada, encontraram produtividades de até 4049 kg ha⁻¹, correspondendo a aumento de produtividade cerca de quatro vezes maior do que a obtida sem irrigação. Em experimentos realizados na Rússia (BARANOV, 1986), foi confirmado que a mamoneira responde bem a irrigação, com incrementos bastante consideráveis, de até mais de oito vezes a mais que o cultivo em regime de sequeiro, como verificado nas regiões secas de Trans-Volga onde, sem irrigação, se produz cerca de 1800 kg de baga/ha e, irrigado, o aumento foi de 1650 Kg de baga/ha, podendo aumentar, dependendo do solo, da cultivar, das condições do tempo e do clima do local.

No Brasil, as áreas irrigadas com mamona são poucas, com alguns registros na Bahia, no Rio Grande do Sul e no Maranhão, atingindo-se até mais de 6,0 t de baga/ha, em alguns casos. No caso do uso da irrigação na ricinocultura, este fato somente se justifica utilizando-se elevada tecnologia para se tirar o máximo possível de produtividade. Para Barreto et al. (2006), informações de produtores na região de Irecê no estado da Bahia, relatam rendimentos de até 4.000 Kg/ha, em condições de irrigação, ao passo que, em cultivos de sequeiro, a média nacional está em torno de 800 Kg/ha (BELTRÃO, 2004),

Beltrão (2004), informa que em Bom Jesus da Lapa - BA, em solo arenoso tipo Neossolo quartezênico, cultivar BRS 188 Paraguaçu, espaçamento de 3,0 m x 1,0 m, uma planta por cova, irrigação via pivô central, com dotação hídrica em torno de 1000 mm/ciclo, a produtividade média atingiu cerca de 5,0 t de baga/ha, com a colheita sendo realizada manualmente.

Segundo Gondim (2004), o genótipo CSRN-142 mostrou grande potencial produtivo e boa adaptação à região do Cariri Cearense, com produtividade máxima de 3.494 kg/ha em cultivo irrigado no município de Barbalha-CE, plantado na configuração de 0,60m x 0,37m com frequência de irrigação semanal e com 616,23mm distribuídos durante o ciclo da cultura.

O genótipo CSRN-142 obteve produtividade máxima de 1.539 kg/ha, plantado na configuração 0,60m x 0,37m, em regime de sequeiro, o que comprova o seu potencial produtivo e a boa adaptação à região do Cariri Cearense (GONDIM et al., 2006). Segundo o autor, o adensamento de sementeira do genótipo CSRN-142 contribuiu para aumento de produtividade de sementes em mais de 60%, mas não interfere em sua altura. Segundo Milani et al. (2006), o cultivo de mamona de porte baixo é viável para a região de Irecê-BA, com o genótipo CSRN 142 atingindo produtividade de 2.242 Kg/ha em condições de sequeiro.

2.3 - Medições e estimativas da evapotranspiração

Considerações gerais

A estimativa das necessidades hídricas de uma determinada cultura é feita com base nas perdas de água do sistema solo-planta para a atmosfera através dos processos de evaporação e transpiração.

Segundo Pereira et al., (1997), a evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. A disponibilidade de energia depende do local e da época do ano.

As pesquisas sobre evapotranspiração fornecem informações da quantidade de água consumida pelas plantas, elemento importante para o manejo da água e para o dimensionamento dos sistemas de irrigação. A FAO, nas duas últimas décadas, reiteradamente recomendou a realização de pesquisas locais para determinar a demanda hídrica das culturas, principalmente para estimar e

medir a evapotranspiração, pois a escolha de determinado método de evapotranspiração deve ser precedida por uma calibração local (CURI & CAMPELO JÚNIOR, 2001).

Conforme Rosenberg et al. (1983), a evaporação e transpiração ocorrem simultaneamente na natureza e não é fácil distinguir o vapor d'água produzido pelos dois processos. Deste modo, o termo evapotranspiração é usado para descrever o processo total de transferência de água na forma de vapor de superfícies vegetadas para a atmosfera.

A aplicação da lâmina de irrigação, na quantidade correta e no momento adequado, é de fundamental importância para a maximização da produtividade das culturas irrigadas. Por isso, o estabelecimento da evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) deve ser feito de forma criteriosa, a fim de proporcionar um correto dimensionamento de sistemas de irrigação. A suplementação hídrica da cultura para suprir a demanda via ET_m é, normalmente, realizada pela chuva ou irrigação parcial (estação chuvosa) ou irrigação total (estação seca). Essa suplementação, quando feita via irrigação (parcial ou total), em uma determinada região depende, basicamente, da demanda evapotranspirativa local – evapotranspiração de referência (ET_o). Por isso, os estudos voltados para a definição da ocorrência prévia de prováveis valores de ET_o e precipitação, em diferentes escalas de tempo, em uma região assumem grande importância para o planejamento agrícola, para determinar a lâmina de água a ser aplicada e o dimensionamento de sistemas de irrigação (ANDRADE JÚNIOR et al., 2004).

A evapotranspiração da cultura (ET_c), é fundamental em projetos de irrigação, pois ela representa a lâmina de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção em condições ideais. Para obtenção de ET_c multiplica-se a evapotranspiração de referência (ET_o), por um coeficiente de cultura (K_c) (PEREIRA et al., 1997).

Segundo Lemon et al., (1957), a evapotranspiração é função dos elementos meteorológicos, do solo e da planta. Penman (1956), argumenta que, quando a cobertura do solo é completa, a evapotranspiração de referência é condicionada principalmente pelos elementos meteorológicos. Dentre esses elementos, a radiação líquida é a que exerce maior influência na taxa de evapotranspiração dos cultivos.

Villa Nova (1987), ressalta que é difícil separar a ação de cada um desses elementos, pois os mesmos agem simultaneamente. De maneira geral, quanto maior a disponibilidade de energia solar, de temperatura do ar e de velocidade do vento e quanto menor a umidade relativa do ar, maior deverá ser a demanda evaporativa da atmosfera, ocasionando aumento na taxa de evapotranspiração, quando a umidade do solo não for fator restritivo.

De acordo com Silva (2005), em regiões onde ocorrem advecções fortes, a importância relativa da radiação líquida decresce, e a advecção ou transferência de calor sensível das áreas circunvizinhas poderá contribuir no processo evapotranspirativo com energia até maior que aquela disponível à área considerada, aumentando, dessa forma, a importância da velocidade do vento e da umidade relativa do ar na evapotranspiração.

O conhecimento da evapotranspiração, ou fluxo de calor latente de evapotranspiração (LE), contribui para o planejamento racional da técnica de irrigação e fornece, juntamente com outros elementos meteorológicos, subsídios básicos à regionalização das áreas mais adequadas ao desenvolvimento de determinadas espécies vegetais. Além disso, o conhecimento da quantidade de água exigida por determinada cultura torna-se ainda mais importante, sobretudo em regiões áridas ou com secas regulares, onde o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade são limitados pelo fator hídrico (GALVANI e ESCOBEDO, 2001).

Segundo Doorembos & Pruitt (1975), os fatores mais importantes que determinam o requerimento de água pela cultura são: o clima, a cultura (características de crescimento), umidade do solo, práticas agrícolas e de irrigação, e outros fatores que influenciam a taxa de crescimento como fertilizantes, doenças e infestações de pragas e plantas invasoras. Assim, diversos métodos foram desenvolvidos para estimar as necessidades hídricas das culturas, em função dos fatores físicos e biológicos intervenientes no processo da evapotranspiração.

O termo ETo refere-se à evapotranspiração de uma dada cultura, bem adaptada e escolhida para servir de referência, dentro de dadas condições climáticas, sob condições advectivas adequadas (efeito de advecção desprezível) e com um regime padronizado de fornecimento de água, apropriado para essa cultura e para a região considerada (PERRIER, 1984).

2.3.1 - Medições da evapotranspiração

A medição da variação de peso de um bloco de solo isolado (lisímetro de pesagem) é considerada um dos métodos de pesquisa mais práticos e precisos para se determinar diretamente a evapotranspiração das culturas, podendo ser utilizada para períodos de tempo menores que um dia (HOWELL et al., 1985). Dentre os principais fatores ambientais e de projeto que podem afetar as medições de evapotranspiração nos lisímetros, citam-se: os efeitos da advecção, as dimensões do lisímetro, o regime de umidade do solo no seu interior, a espessura das paredes do lisímetro e a distância entre elas, a altura de suas bordas e diferenças de densidade entre a vegetação dentro e fora do lisímetro. Aspectos construtivos, de manejo e de manutenção de lisímetros, são encontrados em Aboukhaled et al. (1982) e Allen et al. (1991).

2.3.2 - Estimativa da evapotranspiração

Os principais fatores que influenciam na quantidade de água requerida pelas plantas são os fatores climáticos, as características das plantas, as práticas culturais e o tipo de solo, e as principais técnicas de estimativa do requerimento de água pelas plantas baseiam-se em dados climáticos (SEDIYAMA, 1996).

De acordo com Faria et al., (2000), a estimativa adequada da evapotranspiração da cultura (ETc) consiste no principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, uma vez que totaliza a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pela cultura durante determinado período.

Para Sentelhas (2001), a evapotranspiração de referência, também denominada de potencial (ETp) é a taxa de evapotranspiração de referência (padrão), caracterizada com uma extensa superfície com grama, com uma altura entre 8 e 15cm, em crescimento ativo (IAF = 2,88), cobrindo totalmente a superfície do solo e bem suprida de água. Para o autor, esse conceito foi introduzido visando-se estudar a demanda evapotranspirativa da atmosfera independente do tipo de cultura, de seu desenvolvimento, de práticas de manejo e da disponibilidade de água no solo. Nessas condições, conclui: a ETo é variável dependente exclusivamente das condições meteorológicas, o que a torna também um elemento meteorológico, expressando, desse modo, o potencial de

evapotranspiração de um local, em cada época do ano, sem levar em consideração fatores do solo e da planta.

Existem diversos métodos na literatura para se estimar a evapotranspiração de referência utilizando-se parâmetros climatológicos. Dentre eles, podem ser citados: Penman, Penman modificado, Blaney-Criddle, Hargreaves, Makink, Penman-Monteith e muitos outros. Esses métodos foram desenvolvidos nas mais diversas condições climáticas e de manejo de culturas. Portanto, ao selecionar o método de estimativa da evapotranspiração da cultura de referência, deve-se levar em conta as condições climáticas e de manejo cultural do local onde serão utilizados. Outra metodologia utilizada para se estimar a evapotranspiração de referência é a utilização dos dados de evaporação do tanque classe A. Essa metodologia geralmente é utilizada quando não se dispõe dos parâmetros climatológicos requeridos nos demais métodos. Trata-se de uma metodologia simples e que se correlaciona bem com as demais. Os valores de ET_o podem ser calculados para diversos intervalos de tempo; no caso de manejo de irrigação, é comum utilizar o intervalo de tempo de um dia. Portanto, geralmente ET_o é expresso em mm/ dia. Atualmente, o método mais recomendado para a estimativa da evapotranspiração da cultura de referência, ET_o , é o de Penman-Monteith/FAO (COUTO; SANS, 2002).

Entre os métodos para determinação da evapotranspiração de referência, a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) tem difundido e recomendado a adoção do método de Penman-Monteith como padrão para fins de irrigação e aconselhado sobre procedimentos para o cálculo dos vários parâmetros (ALLEN et al., 1998).

2.4 - Necessidades hídricas das culturas

Pode-se definir as necessidades de água de um cultivo (ET_c) como a quantidade de água necessária para cobrir as perdas por transpiração e evaporação de um cultivo livre de enfermidades, crescendo em grandes áreas, com abundante água e adubos, sem restrições nas condições de solo e obtendo-se altas produções nas condições de crescimento dadas. Necessidades hídricas de Culturas pode ainda ser definido como sendo a quantidade de água que potencialmente satisfaz a evapotranspiração de uma área vegetada quando a produção não é limitada pela falta de água.

O conhecimento da evapotranspiração (necessidades hídricas) de uma cultura durante seu ciclo e dos coeficientes de cultivo é de grande importância para o sistema de irrigação a ser aplicado, contribuindo para aumentar a produtividade e otimizar a utilização da lâmina de irrigação, dos equipamentos de irrigação, da energia elétrica e dos mananciais (AZEVEDO et al., 2003).

Conforme Rosenberg et al. (1983), a evaporação e transpiração ocorrem simultaneamente na natureza e não é fácil distinguir o vapor d'água produzido pelos dois processos separadamente.

A sobre-estimativa das necessidades de irrigação conduz a um desperdício da água disponível, ocasionando um aumento nos custos de produção e indesejáveis consequências ao meio ambiente. Assim, para se obter melhorias de produtividade das culturas e da gestão dos recursos hídricos, deve-se buscar otimizar a eficiência e a precisão da programação de irrigação, o que implica em tentar aproximar as estimativas das necessidades hídricas das plantas às suas necessidades reais.

De acordo com Azevedo et al., (1993), para a obtenção de altos rendimentos e maior eficiência no uso de água do algodoeiro, é necessário que se conheça as necessidades hídricas da cultura, de modo que se possa oferecer às plantas a quantidade de água adequada para os processos metabólicos e fisiológicos.

Quando as necessidades hídricas da cultura são atendidas plenamente, $E_{Tr} = E_{Tm}$; quando o suprimento de água é insuficiente, tem-se que $E_{Tr} < E_{Tm}$. Para a maioria das culturas e climas, tanto E_{Tm} como E_{Tr} podem ser quantificados. (DOORENBOS & KASSAM, 1994).

Para se avaliar o consumo de água de lavouras comerciais utiliza-se o cálculo de evapotranspiração máxima (E_{Tm}). De acordo com DOORENBOS & PRUIT (1975), a taxa de evapotranspiração máxima ocorre na cultura isenta de doenças, crescendo em um campo extenso (um ou mais hectares) em condições ótimas de solo, com fertilidade e água suficiente, a qual alcança plena produção potencial com respeito ao meio vegetativo dado.

Doorenbos & Kassam (1979), afirmam que o déficit hídrico na planta pode se desenvolver até um ponto em que o crescimento e o rendimento das culturas tornam-se afetados.

2.4.1 - Balanço de energia com base na razão de Bowen

A energia utilizada nos processos de transferência de água de uma superfície para a atmosfera, aquecimento e resfriamento do ar e solo, bem como para a realização do metabolismo das plantas, é proveniente da radiação solar. Portanto, em uma superfície vegetada, é importante o conhecimento da partição da radiação solar nestes processos, para estudos da variação do consumo de água durante o crescimento da cultura (ALVES et al., 1998), que influencia nos processos de formação da produção e acúmulo de açúcar (POMMER; PASSOS, 1990).

De acordo com Irvine et al., (1998), a radiação solar recebida na superfície da Terra, direta ou indiretamente, pode ser fracionada em três formas de energia: a radiativa, onde parte da energia recebida é diretamente refletida ou utilizada no aquecimento da superfície do solo, que é então irradiada com base na lei de Stefan-Boltzman, sendo a resultante deste balanço, denominado de saldo de radiação (R_n); o fluxo de calor turbulento, que corresponde aos fluxos de calor latente (LE) e de calor sensível (H) e energia residual, que compreende a energia armazenada na copa das árvores (S), o fluxo de calor no solo (G) e a fotossíntese (P).

A aplicação do método do balanço de energia na estimativa do consumo hídrico de áreas que têm coberturas vegetadas tem sido uma prática de muitos institutos de pesquisa e universidades em diferentes países (ANGUS; WATTS, 1984; CUNHA et al., 1996; PRUEGER et al., 1997; AZEVEDO et al., 2003; RODRIGUES, 2003; SILVA et al., 2003; SOARES, 2003; SOUZA, 2003; CARDOSO et al., 2005; MOURA, 2005; SOUSA, 2005; SILVA et al., 2006). Esse método se baseia no princípio da conservação de energia, em que o balanço dos fluxos de entrada e saída de energia no volume de controle representado pela área vegetada, permite, através de sua contabilização, a determinação da energia utilizada pela cultura no processo de transferência de água, sob a forma de vapor, para a atmosfera.

Para Galvani e Escobedo (2001), o método do balanço de energia (M.B.E.) possibilita determinar os valores da demanda atmosférica em escala horária e até mesmo em escalas menores. Apesar da grande diversidade de métodos para determinações em escala horária, somente as medidas lisimétricas e o método do balanço de energia fornecem resultados com eficácia.

A razão entre os fluxos de calor sensível e calor latente foi proposta por Bowen em 1926, como forma de estudar o fracionamento de energia disponível, possibilitando o cálculo da evapotranspiração. A razão de Bowen (B) é frequentemente inferida pelas medições das diferenças médias de temperatura e umidade através de uma distância vertical fixada acima de uma superfície homogênea qualquer (SOUZA, 2003; CARDOSO et al, 2005). A razão de Bowen é um método indireto de determinação da evapotranspiração (ETc) das culturas (TODD et al., 2000),

Para Perez et al., (1999), a aplicação desta metodologia baseia-se nos seguintes pressupostos: o transporte de massa é unidimensional, sem gradientes horizontais e os sensores que medem os gradientes devem estar localizados dentro de uma subcamada de equilíbrio, na qual os fluxos não variam com a altura; a superfície é considerada homogênea com relação às fontes e drenos de calor, vapor d'água e momentum; a razão entre os coeficientes de troca turbulenta de calor e de vapor d'água (K_h/K_w) é igual a unidade, o que ocorre sob condições atmosféricas neutras ou instáveis.

Segundo Teixeira et al., (1999), o processo de evapotranspiração é governado pela troca de energia na superfície vegetada, limitada pela energia disponível, sendo possível estimar-se o fluxo de calor latente de evaporação, através do princípio de conservação da energia, em que o ganho é igual à perda. Com base neste princípio, estima-se a evapotranspiração através da fórmula simplificada do balanço de energia, composta pelo saldo de radiação (R_n), pelos fluxos de calor latente (LE) e sensível na atmosfera (H) e pelo fluxo de calor no solo (G). A solução da equação é obtida por medições de R_n e G e de estimativas de LE e H através da razão de Bowen (β).

O balanço de energia, baseado no princípio físico da conservação da energia, relaciona as densidades dos Fluxos de energia disponível na vegetação (radiação líquida) com a energia utilizada, principalmente o calor latente da evaporação e o calor sensível nas variações de temperatura do ar e do solo (PEREIRA et al., 2002).

Métodos micrometeorológicos quantificam estes fluxos e permitem avaliar as transformações da energia radiante em calor latente e sensível, representando assim, a contabilidade destas interações. A radiação líquida pode ser considerada como um dos elementos meteorológicos principais no processo de

evapotranspiração, mesmo sob condições áridas em que por advecção, uma quantidade de calor sensível do ar pode ser convertida em calor latente (ROSENBERG *et al.*, 1983).

De acordo com Silva (2003), a estimativa da evapotranspiração obtida pelo sistema automático de Razão de Bowen, pode ser influenciada pela contribuição advectiva provinda de áreas secas não irrigadas circunvizinhas à área irrigada, principalmente em regiões de clima seco com ventos fortes.

Considerando que os fluxos advectivos são desprezíveis quando medidas são efetuadas em área úmida, localizada nas proximidades de uma área tampão, suficientemente grande, para que os gradientes horizontais de temperatura e umidade sejam absorvidos e que a energia utilizada no processo fotossintético não ultrapasse 3% do saldo de radiação, a equação do balanço de energia pode então ser escrita na sua forma simplificada (VILA NOVA, 1973).

Por definição, a razão entre o fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor latente (LE) foi proposta por Bowen em 1926, como uma forma de estudar a partição da energia disponível, devido à dificuldade de se determinar H e LE diretamente. Esse método representa a contabilidade e as interações dos diversos tipos de energia com a superfície, constituindo-se, basicamente, na partição do saldo de radiação nos fluxos de calor latente e nos fluxos de calor sensível no ar e no solo (FONTANA *et al.*, 1991).

De acordo com Rosenberg (1983), a obtenção de LE e H só é possível na presença de uma extensa bordadura (fetch), que deve chegar a proporção de 100:1.

Para Angus & Watts (1984) o método do balanço de energia considera a igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível (Kh) e latente (Kw) e esta é válida apenas para condições de estabilidade atmosférica, próximo da neutralidade e as medições dos gradientes de temperatura e umidade devem ser realizadas dentro da camada limite do fluxo de ar, implicando na necessidade de um barlavento com extensão mínima de 100 vezes a altura da cultura. Observaram, ainda, que este método se torna impreciso em condições muito secas ou com considerável advecção de energia.

Por outro lado, Heilman & Brittin (1989), afirmam que, ao contrário de outros métodos, para utilização do balanço de energia não são necessárias informações sobre velocidade do vento nem das propriedades aerodinâmicas da

superfície vegetada. Concluíram, ainda, que o método não é afetado pelo barlavento quando a razão de Bowen é pequena, ao invés da relação 1:100 citada na literatura, podendo ser usado com precisão para barlavento vinte vezes a altura da cultura (20:1).

Oliver & Sene (1992), ao calcularem os componentes do balanço de energia através do método das correlações turbulentas, na cultura da videira, var. Airen, na Espanha, em condições de sequeiro, com espaçamento de 2,5 x 2,5 m, obtiveram, durante o período de 50 dias, da brotação até o completo desenvolvimento foliar, a partição do saldo de radiação em 45% para o fluxo de calor sensível, 28% para o fluxo de calor no solo e 27% para o fluxo de calor latente. Ainda com a cultura da videira, Heilman et. al. (1994) no Texas, verificaram grande contribuição do calor sensível gerado na superfície do solo no balanço de energia.

Heilman et al. (1994) utilizando o razão de Bowen, realizaram o balanço de energia na cultura da videira, variedade Chardonnay, em Lamesa (TX) conduzida no sistema de espaldeira, num espaçamento de 3 x 1,7 m, durante oito dias. O saldo de radiação variou de 12,5 a 8,9 MJ m⁻²d⁻¹. Sob condições de instabilidade acima das plantas, a partição desse saldo se deu como 17 a 28% para fluxo de calor sensível, 11 a 29% para o fluxo de calor no solo e 46 a 61% para o fluxo de calor latente.

Cunha et al. (1996), verificaram ao efetuarem o balanço de energia na cultura do milho, no Rio de Janeiro, que o saldo de radiação foi fracionado em 80% para o fluxo de calor latente, em 14% para o fluxo de calor sensível e em 6% para o fluxo de calor no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Teixeira et al. (1997), com a cultura da videira, var. Itália, conduzida em sistema de latada, no Sub-Médio São Francisco. Nesse último estudo, 82% do saldo de radiação foram particionados em fluxo de calor latente, 13% em fluxo de calor sensível e 5% em fluxo de calor no solo.

Pedro Júnior & Villa Nova (1981), verificaram em soja, valores de 72% para o fluxo de calor latente de evaporação, 13% para fluxo de calor sensível e 15% para fluxo de calor no solo, em relação ao saldo de radiação ou, como citam os autores, da energia líquida disponível no meio.

Trambouze et al. (1998) utilizando o método do balanço de energia na cultura da videira, concluíram que a vantagem desse método com relação a

outros, na estimativa da evapotranspiração, consiste no fato de poder ser usado para períodos curtos.

O balanço de energia foi também utilizado por Burba et al. (1999), para obtenção dos fluxos de calor latente e sensível de gramíneas (*Phragmites australis*) no centro-oeste do Estado de Nebraska, EUA, em condições úmidas. Na maior parte do desenvolvimento vegetativo o fluxo de calor sensível foi o menor componente do balanço de energia. Durante os estádios iniciais e de pico de crescimento vegetativo, a magnitude média diária foi de 25 W/m^2 , consumindo cerca de 5 a 10% do saldo de radiação, aumentando em torno de até 50 W/m^2 no final da senescência. O fluxo de calor latente consumiu cerca de 80-90% do saldo de radiação, porém durante a senescência esse percentual decresceu para 30-80%.

Silva et al., (2005), em estudos realizados com capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) irrigado por pivô-central, concluíram que a estimativa da evapotranspiração, obtida pelo sistema automático de razão de Bowen (SARB), pode ser influenciada pela ausência de gradiente de temperatura e umidade em períodos chuvosos e, também, pela contribuição advectiva, provinda de áreas secas não-irrigadas circunvizinhas à área irrigada, para períodos secos, principalmente em regiões de clima seco e com ventos fortes. Apesar desses fatores, verifica-se, neste trabalho, que o SARB apresentou desempenho satisfatório na estimativa da evapotranspiração. Os métodos de estimativa da evapotranspiração, que utilizam variáveis ambientais com aquisição automática de dados em tempo real, como o método da razão de Bowen, apresentaram melhores resultados em relação a dispositivos lisimétricos para períodos secos, se comparados com períodos chuvosos.

2.4.2 - Coeficiente de cultivo (Kc)

A determinação das necessidades hídricas de culturas, em seus diferentes estádios de desenvolvimento, é uma etapa importante para o manejo de irrigação (AMORIM NETO et al., 1996). Nos últimos anos, muitas pesquisas têm sido realizadas, visando determinar as necessidades hídricas de culturas por meio do coeficiente de cultivo (Kc), em seus diferentes estádios de desenvolvimento. Souza et al. (1987), asseguram que estimativas confiáveis de coeficiente de cultivo ao longo da estação de cultivo, permitem que se conheçam as

necessidades hídricas de uma determinada cultura, além de facilitar o estabelecimento da frequência e quantificação da irrigação, sem necessidade de medição da umidade do solo.

O coeficiente de cultivo (K_c) é um parâmetro que é passível de ajuste e está diretamente relacionado com a demanda hídrica e é influenciado pelo tipo de cultura, pela idade fenológica da mesma e as características climáticas do local. O K_c pode ser estimado para as fases de desenvolvimento inicial (k_{cini}), médio (k_{cmed}) e final (k_{cfin}), possibilitando, assim, a obtenção de parâmetros corrigidos de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura e o local de plantio (AZEVEDO, 1998).

O coeficiente de cultura leva em conta os efeitos combinados das características de perda por evaporação do solo e planta e, segundo Pereira & Allen (1997), representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a evapotranspiração da cultura daquela de referência, ou seja, a altura da cultura que afeta a rugosidade e a resistência aerodinâmica; a resistência de superfície relativa ao par cultura - solo, que é afetada pela área foliar (determinando o número de estômatos), pela fração da cobertura vegetal do solo, pela idade e condição das folhas, e pelo teor de umidade na superfície do solo; o albedo da superfície cultura-solo, que é influenciado pela fração de cobertura vegetal e pela umidade na superfície do solo e influencia a radiação líquida disponível na superfície, R_n , que é a principal fonte de energia para as trocas de calor e de massa no processo de evaporação. Este coeficiente tem, portanto, um complexo significado físico e implicações biológicas que necessitam ser adequadamente compreendidos e modelados.

A razão entre a ET_c e ET_o origina o coeficiente de cultura (K_c), que depende do estágio de desenvolvimento das plantas, do sistema de irrigação, da configuração de plantio e das condições meteorológicas reinantes (ALLEN et al., 1998). Jensen (1968), define como sendo o quociente entre a evapotranspiração da cultura ET_c e a evapotranspiração de referência ET_o ($K_c = ET_c/ET_o$).

Em algumas culturas o K_c atinge valores superiores a unidade, particularmente durante o subperíodo de maior consumo hídrico da cultura, o que torna o termo potencial de significado questionável (DOORENBOS & PRUITT, 1977; CUENCA., 1982). Isso ocorre porque a equação de Penman foi derivada de uma superfície coberta totalmente por uma vegetação baixa, em pleno

desenvolvimento vegetativo e sempre bem suprida de água, para uma condição de evapotranspiração potencial ou perda total de água para a atmosfera. Nestas condições é desprezível a resistência ao fluxo de vapor de água para a atmosfera. Para contornar este problema, o termo evapotranspiração potencial foi substituído por evapotranspiração de referência (ET_o), significando o consumo hídrico de uma cultura de grama de 2 a 5cm ou alfafa de 20 a 50cm de altura.

Os coeficientes de cultura variam com as características específicas de cada cultura, estágio de desenvolvimento, época de plantio, densidade de plantio, duração da estação de crescimento, condições de umidade e clima (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

Cury e Campelo Júnior (2004), trabalhando com o híbrido Íris de mamona, com ciclo de 110 dias, obtiveram produtividade de 2342,5 Kg/ha, com Kc médio de 0,72, variando de 0,34 na emergência da cultura para 1,29 na floração e 0,86 na formação e enchimento dos frutos. A evapotranspiração média da cultura, obtida com nível freático de 50cm, foi de 4mm/dia e o consumo médio acumulado foi de 439,67mm.

2.4.3 - Eficiência de uso de água

Considerando-se que a agricultura é a grande responsável pelo consumo da água no mundo e que há uma grande necessidade de incremento da área irrigada, para manter os atuais níveis de incremento na produção de alimentos e fibras, torna-se urgente o aumento da eficiência de uso de água para aumentar a produção agrícola, sem incrementos na quantidade de água aplicada às culturas. Portanto, se a atual eficiência de irrigação, a nível mundial, gira em torno de 37% em média, torna-se imperioso o aumento da eficiência do uso de água, como forma de incrementar a área irrigada, mantendo os atuais níveis de utilização dos recursos hídricos do planeta (MARTINEZ-ÁUSTRIA, 2003)

A partir do último quarto do século passado, a comunidade científica tem focado suas atenções nos problemas associados ao uso da água com vistas ao aumento da produção das culturas. Essa preocupação tem contribuído para que se entenda o papel da água na agricultura irrigada. A visão dos técnicos vinculados à área de irrigação tem sido direcionada em três segmentos: o primeiro grupo direciona seus trabalhos visando obter informações sobre a quantidade de água que a planta necessita para que a cultura tenha o máximo de

rendimento; o segundo busca obter a máxima eficiência de uso da água e o terceiro busca o máximo uso econômico da água, isto é, que a quantidade de água aplicada à cultura deve aumentar até o ponto em que o custo de água seja superado pelo lucro decorrente do acréscimo obtido no rendimento (VAUX & PRUITT, 1983).

A resposta das plantas é o resultado de uma complexa interação de vários processos fisiológicos que podem ser afetados de modo diferente em função do déficit de água na planta (VAUX & PRUITT, 1983). De acordo com Hsiao & Bradford (1983), as mudanças provocadas pelo estresse hídrico dependem da severidade e duração do mesmo. Para Taylor & Willatt, (1983), há grande evidência de que a eficiência de uso de água pelas plantas varia entre as espécies no mesmo ambiente, entre diferentes condições climáticas, entre sítios e estação do ano.

Kudrev (1994) considera que a água exerce influência em diversos processos como assimilação de CO₂, transpiração, expansão foliar e partição de fotoassimilados para os diversos órgãos das plantas. A redução na quantidade de água disponível às plantas leva à aceleração da respiração, ao aumento da atividade das enzimas hidrolíticas e à redução na atividade fotossintética.

Segundo Lamaud et al. (1996), a eficiência de uso de água representa a capacidade que a vegetação possui em assimilar carbono, enquanto limita as perdas de água, através dos estômatos. Por sua vez, Grismer (2002) afirma que a eficiência de uso de água depende da capacidade de assimilação de CO₂ da planta, conseqüentemente, da eficiência fotossintética da planta ou do tipo da planta.

2.5 - Análise de crescimento

No estudo de fisiologia de comunidades vegetais, a análise de crescimento se apresenta como uma técnica válida para estudar as bases fisiológicas da produção e evidenciar as influências exercidas pelas variáveis ambientais, genéticas e agronômicas (WATSON, 1952; REICHARDT; MEDINA, 1992).

A análise de crescimento é um método que descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, entre amostragens sucessivas, com o objetivo de se acompanhar a dinâmica da produção fotossintética, avaliada através da acumulação de matéria seca. Este método é

considerado internacionalmente como método padrão, para a estimativa da produtividade biológica ou produtividade primária das comunidades vegetais.

De acordo com Silva (1995), a análise matemática dos variáveis morfofisiológicas da planta pode ser efetuada com base em duas metodologias: a clássica e a funcional, em que a primeira permite uma estimativa de valores médios, no intervalo entre duas amostragens, para facilitar a comparação entre cultivares e tratamentos diversos, enquanto na metodologia funcional modelos matemáticos são ajustados aos dados de matéria seca e área foliar, em função do tempo.

A comunidade vegetal é dinâmica e sofre variações constantes tanto no número como no tamanho, forma, estrutura e composição química dos indivíduos. A análise quantitativa do crescimento é o primeiro passo na análise da produção vegetal e requer informações que podem ser obtidas sem a necessidade de equipamentos sofisticados. Tais informações são: a quantidade de material contido na planta inteira e em suas partes (folhas, colmos, raízes e frutos) e o tamanho do aparelho fotossintetizante (PEREIRA & MACHADO, 1987).

Segundo Magalhães (1986), a análise descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, permitindo acompanhar a dinâmica da produtividade, avaliada por meio de índices fisiológicos e bioquímicos. O autor relatou, ainda, que é um método a ser utilizado na investigação do efeito dos fenômenos ecológicos sobre o crescimento, como a adaptabilidade das espécies em ecossistemas diversos, efeitos de competição, diferenças genotípicas da capacidade produtiva e influência das práticas agrônomicas sobre o crescimento. Afirma, ainda, que a determinação da área foliar é importante, pois as folhas são as responsáveis pela captação de energia solar e produção de matéria orgânica, através da fotossíntese.

Para o estudo dos efeitos ambientais sobre o crescimento dos vegetais, são encontrados na literatura vários conceitos e técnicas de análise de crescimento. Assim, a interferência do ambiente sobre a produção das culturas pode ser evidenciada pelas alterações no crescimento dos vegetais (NILWIK, 1981). Para mensuração dessas alterações, o acúmulo de matéria seca é, talvez, o parâmetro mais significativo, já que o mesmo é resultante da associação de vários outros componentes (MAGALHÃES, 1985; COLL et al., 1988).

De acordo com Benincasa (1988) a análise de crescimento é um meio acessível e preciso para se avaliar o crescimento e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal. Além disso, essa técnica pode ser de grande valor na avaliação de diferenças intra e interespecíficas das diversas características que definem a capacidade produtiva da planta (MAGALHÃES, 1985).

Para Kvet *et al.* (1971), a análise de crescimento pode ser usada para a avaliação da produtividade de culturas e permite que se investigue a adaptação ecológica dessas culturas a novos ambientes, a competição entre espécies, os efeitos de manejo e tratamentos culturais, a identificação da capacidade produtiva de diferentes genótipos. Por outro lado, a análise quantitativa de crescimento é o primeiro passo na análise da produção de comunidades vegetais, requerendo informações obtidas através de características de crescimento. Entre os mais utilizados estão o índice de área foliar, duração do índice de área foliar, taxa de crescimento da cultura, taxa de crescimento relativo e taxa de assimilação líquida (PEREIRA; MACHADO, 1987).

A mamoneira possui metabolismo complexo. É uma planta de metabolismo C3, ineficiente, com elevada taxa de respiração, sobretudo nas folhas (Beltrão *et al.* 2001) e daí, a importância das estimativas dos índices de crescimento, tais como, taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR), área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), para melhor compreensão do desenvolvimento desta cultura. Para poder obter estes índices faz-se o uso da análise de crescimento, que segundo Pereira e Machado (1987), representa a referência inicial na análise de produção das espécies vegetais, requerendo informações que podem ser obtidas sem a necessidade de equipamentos sofisticados. Tais informações são: a quantidade de material contido na planta toda e em suas partes (folhas, colmos, raízes e frutos) e o tamanho do aparelho fotossintetizante (área foliar), obtidos em intervalos regulares de tempo, durante o desenvolvimento fenológico da planta (URCHEI *et al.*, 2000).

Como o crescimento é avaliado por meio de variações em tamanho, de algum aspecto da planta, geralmente morfológico, isso evidencia que a análise de crescimento esta baseada no fato de que 90% em média da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo do seu crescimento, resulta da atividade

fotossintética, sendo que esta passa a ser o componente fisiológico de maior importância neste tipo de estudo (BENINCASA, 1988).

Para Severino (2004), a determinação da área foliar de plantas é uma importante ação que permite ao pesquisador obter indicativo de resposta de tratamentos aplicados e lidar com uma variável que se relaciona diretamente com a capacidade fotossintética e de interceptação de luz, interfere na cobertura do solo, na competição com outras plantas e em outras várias características.

Maior alocação de assimilados para síntese de folhas, resulta maiores valores de razão de peso folha e, conseqüentemente, aumento da RAF, que, toda via, também pode advir de elevação da AFE, em resposta a adaptação da planta a condição de baixa luminosidade ou baixa fertilidade de solo (POORTER, 1989).

De acordo Silva, *et al.* (2005), como TAL e RAF são componentes da TCR, a observação destes vai permitir concluir, dependendo da cultura e das condições do meio no qual essa se encontra, qual destes índices vai influenciar mais na variação, ou se terão igual participação na determinação da TCR.

Para Beadle (1993), a análise de crescimento possibilita a estimativa de taxas de crescimento que quantificam este balanço em determinado momento ou intervalo de tempo de interesse. Esta é uma ferramenta bastante valiosa no entendimento das adaptações da planta sob diferentes condições de meio e manejo. A taxa de crescimento relativo (TCR) representa o incremento em peso de matéria seca por peso de matéria seca já existente, num dado intervalo de tempo ($\text{g.g}^{-1}.\text{tempo}^{-1}$). Ela pode ser obtida pelo produto da taxa assimilatória líquida (TAL) pela razão de área foliar (RAF), o que a torna um importante índice do crescimento vegetal, pois combina um fator fisiológico (TAL) e outro morfológico (RAF) (POORTER, 1989).

2.5.1 - Análise de crescimento destrutiva

Esse método, apesar de ser relativamente fácil, a obtenção dos valores primários necessários para estimar as características de crescimento, tais como: taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), entre outras, apresenta um grande inconveniente, pois é necessário que as plantas sejam sacrificadas em cada fase da análise para obtenção da matéria seca (SILVA *et al.*, 2000).

O fundamento da análise clássica do crescimento é a medida sequencial da acumulação de matéria orgânica e sua determinação é feita, normalmente, considerando o peso seco da planta ou grupo de plantas. As plantas tomadas como amostra, a cada tempo, devem representar a população em estudo, a fim de que técnicas estatísticas apropriadas possam ser utilizadas (MAGALHÃES, 1986).

2.5.2 - Análise de crescimento não destrutiva

A análise não destrutiva, como o próprio nome indica, visa estudar o crescimento das plantas, via medidas não destrutivas, podendo assim, serem mensuradas os mesmos indivíduos durante o ciclo biológico. Neste caso, os valores primários são: altura das plantas, diâmetro caulinar, área foliar.

2.6 - Partição de Assimilados

As variações na quantidade de biomassa e de área foliar em função do tempo são empregadas na estimativa de índices fisiológicos, que podem caracterizar a capacidade produtiva do genótipo. Por outro lado, as alterações de fatores ambientais podem induzir às plantas a redirecionarem a distribuição dos fotoassimilados, conseqüentemente, modificando o crescimento e a morfologia (CONCEIÇÃO, 2004).

Para explicar o crescimento vegetal é necessário analisar o destino do carbono fixado e, particularmente, sua partição entre as partes aéreas e as radiculares e, dentro da parte aérea, a partição em folhas e hastes (NABINGER, 1997).

Sugundo o autor, existe uma hierarquia na partição de assimilados para a fabricação dos diferentes compartimentos que compõem a biomassa vegetal (folhas, hastes, ramificações e raízes).

A matéria seca total, geralmente, pode ser aplicada para definir a produção. Os principais fatores responsáveis pela produção de matéria seca são a área foliar, a taxa assimilatória líquida e a radiação solar incidente (MONTEITH, 1969).

A distribuição diferenciada dos fotoassimilados na planta entre diferentes órgãos é denominada de *partição*. A distribuição dos fotoassimilados entre diferentes rotas metabólicas dentro de uma mesma célula é denominada de

alocação. A partição dos assimilados, ou sua alocação, são regulados por enzimas chaves que participam da síntese e degradação do amido e sacarose (LOUREIRO, 2004).

O crescimento das plantas não é regulado somente pela assimilação de carbono, mas também pela partição de assimilados, sendo a regulação de ambos os processos, controlada pelo genótipo e pelo ambiente (ROCHER et al., 1989).

Durante a fase de crescimento, os assimilados são empregados principalmente na formação de folha, as quais, logo a seguir aumentarão o potencial de produção e a entrada de carbono na planta. Durante e após a fase de floração, há um transporte de carboidratos predominantemente para os órgãos reprodutivos, sendo que todas as outras partes da planta são supridas apenas com o necessário para a manutenção (freqüentemente, ocorre a abscisão das folhas mais velhas). Portanto, durante o curso da vida da planta, a partição dos assimilados entre as folhas, caule e raízes varia consideravelmente (LARCHER, 2000).

2.7 - Eficiência econômica da cultura

Na região semi-árida do Nordeste brasileiro, a disponibilidade de água para a irrigação é bastante escassa e diminui rapidamente em decorrência do aumento da população, o que tem provocado competição com outros usos: humano, animal e industrial. Esse fato impõe um uso mais eficiente dos recursos hídricos, tanto em termos físicos como econômicos, uma vez que o custo de energia na irrigação se constitui um dos fatores de produção que onera a atividade agrícola irrigada. Nos empreendimentos agrícolas, os recursos de água e energia devem ser otimizados, possibilitando a utilização dos demais insumos de produção e, conseqüentemente, a obtenção de maiores produtividades com uma combinação melhor dos insumos empregados (AZEVEDO, 2002).

Segundo Vaux & Pruitt (1983), para se obter o máximo rendimento de uma área irrigada, procura-se fazer uma programação de irrigação, visando-se as seguintes metas: otimizar a irrigação para obter o máximo de produção por área irrigada; maximizar a produção por unidade de água aplicada pela irrigação; maximizar os benefícios econômicos da exploração agrícola; economizar ou minimizar as necessidades de energia.

De acordo com Frizzone & Andrade Jr. (2005), pode-se expressar as variáveis da função de produção água-cultura de diferentes maneiras. A variável independente "água" pode ser transpiração, evapotranspiração, lâmina de água aplicada durante o ciclo da cultura, estado de água no solo, etc. Para o usuário da irrigação, é mais interessante utilizar como variável independente a lâmina de água aplicada à parcela, mesmo que apenas parte dela seja utilizada no processo de evapotranspiração.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Cultura e área experimental

Para o desenvolvimento desta pesquisa, experimentos foram conduzidos na Estação Experimental da Embrapa Algodão localizada no município de Barbalha-CE, em condições de campo nos anos de 2005 e 2006 nos lotes 10B e 10A, respectivamente. A área do local apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 7° 19' S, longitude 30° 18' W, altitude de 415,74 m.

O estudo foi realizado com a cultura da mamona (*Ricinus communis* L.), cultivar BRS Energia (EMBRAPA, 2007a), de ciclo precoce com 120 dias até a colheita, sob regime de irrigação, plantada em fileiras simples em uma área de 1 ha, espaçamento de 0,60 x 0,37m, conforme recomendação de Gondim (2004) e com uma população aproximada de 45.000 plantas por hectare. A BRS Energia foi desenvolvida em rede pela EMBRAPA, EBDA e EMPARN e lançada em 2007. As principais características da cultivar estão descritas na Tabela 3.1.

O preparo do solo constou de uma aração com arado escarificador seguido de duas gradagens utilizando-se grade niveladora.

A recomendação para adubação com NPK - Nitrogênio (N), Fósforo (P_2O_5) e Potássio (K_2O) – foram sugeridas de acordo com as análises químicas dos solos coletados em 2005 e 2006 e foram 55-40-20 e 55-40-10 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente. Utilizou-se como fontes de nutrientes o sulfato de amônio, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio. No momento do plantio (fundação) foi aplicada a dose total de fósforo, um terço (1/3) do nitrogênio e metade do potássio. A adubação de cobertura foi efetuada aos 15 e 30 dias após a emergência, aplicando-se o restante da dose recomendada sob a forma de uréia e cloreto de potássio.

Para o controle de ervas daninhas foram efetuadas três capinas manuais mantendo-se a lavoura livre de plantas daninhas durante os primeiros sessenta dias após a emergência.

A colheita foi manual e realizada em duas etapas, a primeira quando o primeiro cacho estava completamente seco e a segunda quando os demais cachos atingiram o mesmo ponto.

Tabela 3.1. Principais características da variedade BRS Energia

BRS Energia	Características
Ciclo	média de 120 dias
Produtividade	1.800 kg ha ⁻¹ em sequeiro
Florescimento do 1º Cacho	30 dias após a germinação
Altura da planta	140 cm
Folhas	verdes com nervuras esverdeadas, (45-55 cm)
Caule	verde e possui cera
Sementes	rajadas com cores bege e marrom
Cachos	formato cônico e frutos indeiscentes
Tamanho do cacho	em média 80 cm
Número de frutos por cacho	Em média 100 (irrigada, espaçamento 1,0 x 0,5m)
Número de cachos por planta	mais comum 2 a 3, podendo chegar a 8
Teor de óleo	48%

Fonte: EMBRAPA-CNPA, 2007.

3.2 - Caracterização do clima

As normais climatológicas para este município no período de 1961-1990 (BRASIL, 1992) são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Valores mensais das normais climatológicas, pressão atmosférica (hPa), temperatura média (°C), temperatura máxima média (°C), temperatura mínima média (°C), precipitação média (mm), evaporação média (mm); umidade relativa média (%), insolação total (h) e nebulosidade do Município de Barbalha, CE, 1961 – 1990.

MÊS	Variáveis Meteorológicas								
	Pres	Tmed	Tmax	Tmin	Prec	Evap	UR	Ins	Neb
Jan	963,8	25,5	32,1	21,2	172,5	160,0	68,0	216,4	7,0
Fev	964,3	24,8	30,9	21,1	191,4	124,3	74,0	191,9	7,0
Mar	964,4	24,5	30,3	20,9	234,3	107,7	80,0	196,4	6,0
Abr	964,9	24,5	30,1	21,2	209,8	100,5	79,0	206,1	6,0
Mai	965,9	24,1	30,0	20,6	48,1	145,8	73,0	224,9	8,0
Jun	967,4	23,8	28,4	19,3	20,8	161,3	67,0	240,0	5,0
Jul	968,4	23,8	29,9	19,1	11,5	224,8	61,0	252,4	7,0
Ago	967,3	24,9	31,7	18,1	5,6	268,7	53,0	281,8	3,0
Set	966,2	26,2	33,3	20,1	5,2	292,8	49,0	276,4	4,0
Out	963,8	26,7	34,1	21,1	2,5	262,9	51,0	268,9	5,0
Nov	963,8	26,8	33,9	21,8	4,8	223,7	53,0	256,4	5,0
Dez	963,8	26,3	33,1	21,7	92,2	216,1	55,0	234,4	6,0
Media	965,4	25,2	31,5	20,5			63,6		5,8
Soma					1001,4	2288,6		2848,0	

Fonte: BRASIL, 1992.

3.3 – Caracterização do solo

O solo predominante na área experimental pertence à classe dos NEOSSOLOS FLÚVICOS, anteriormente classificados como Aluviais Eutróficos (EMBRAPA SOLOS, 1999). Esses solos são formados a partir de deposições fluviais ao longo dos cursos de água, e são terraços tipicamente planos, apresentando lençol freático elevado e drenagem insuficiente. A classificação textural assim como as características físico-hídricas e químicas foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do CCT/UFCEG, e os resultados obtidos para a profundidade do perfil na área de influência do sistema radicular da mamoneira são encontrados nas Tabelas (3.3; 3.4 e 3.5).

Tabela 3.3. Análise textural e caracterização físico-hídrica do solo da área 10B da Estação Experimental da EMBRAPA no ano de 2005 – Barbalha, CE.

Análise Textural		Profundidade (cm)	
		0 - 20	21 - 40
Granulometria _j (%)	Areia	30,82	27,76
	Silte	38,67	22,82
	Argila	30,51	49,42
Classificação Textural		Franco-argiloso	Argiloso
Densidade global (g.cm ⁻³)		1,29	1,33
Densidade real (g.cm ⁻³)		2,65	2,54
Porosidade (%)		51,32	47,64
Curva de Retenção de Umidade			
Umidade (%)	0,10 atm	35,76	37,22
	0,33 atm	27,38	28,62
	1,00 atm	21,20	22,79
	5,00 atm	16,53	17,42
	10,00 atm	15,23	16,02
	15,00 atm	14,11	14,74

Tabela 3.4. Análise textural e caracterização físico-hídrica do solo da área 10A da Estação Experimental da EMBRAPA no ano de 2006 – Barbalha, CE.

Análise textural		Profundidade (cm)					
		0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 60	60 - 100
Granulo metria (g.Kg ⁻¹)	Areia	398	378	337	317	297	297
	Silte	189	189	189	169	169	149
	Argila	413	433	474	514	534	554
Classificação Textural		Argiloso	Argiloso	Argiloso	Argiloso	Argiloso	Argiloso
Densidade do solo (kg.dm ⁻³)		1,37	1,36	1,35	1,36	1,38	1,36
Densidade real (kg.dm ⁻³)		2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
Porosidade (m ³ /m ³)		0,48	0,49	0,49	0,49	0,48	0,49
Curva de Retenção de Umidade							
Umidade (%)	0,10 atm	22,50	21,95	21,63	22,47	21,18	23,24
	0,33 atm	18,74	19,56	20,35	19,96	20,66	21,55
	1,0 atm	13,70	14,03	14,11	17,14	17,15	18,11
	5,0 atm	14,77	17,70	15,97	16,50	15,95	18,95
	10,0 atm	17,09	19,47	16,18	15,92	17,36	18,07
	15,0 atm	13,40	14,47	15,33	17,65	16,31	18,85

Tabela 3.5. Características químicas dos solos da Estação Experimental da EMBRAPA, áreas 10B e 10A, na profundidade de 0-20 cm nos anos 2005 e 2006. Barbalha - CE.

		Experimento 2005	Experimento 2006
Características químicas			
Complexo sortivo mmol/ dm ³	Cálcio	83,00	86,30
	Magnésio	49,00	49,10
	Sódio	3,40	2,50
	Potássio	5,00	7,50
	Hidrogênio	0,00	0,00
	Alumínio	0,00	0,00
	Soma de bases (S)	140,40	145,40
	Cap. de Troca de Cátions (CTC)	140,40	145,40
	Saturação de bases (V), %	100	100
	Matéria orgânica, g kg ⁻¹	15,10	15,90
Fósforo, mg dm ⁻³	6,10	8,40	
pH em água (1:2,5)	7,30	7,30	
Condutividade elétrica do extrato de saturação, dS.m ⁻¹	0,13	-	
RAS (mmol L ⁻¹) ^{1/2}	0,41	0,30	
Classificação em relação à salinidade	Não salino e Não sódico		

3.4 - Etapas do estudo

Experimento 1 - Balanço de energia: O trabalho foi realizado nos anos de 2005 e 2006 em condições de irrigação, visando a estimativa da evapotranspiração da cultura utilizando o balanço de energia com base na razão de Bowen (ET_c_BERB), a determinação da eficiência de uso de água, a caracterização da fenologia da cultura, a avaliação de variáveis biológicas, a realização da análise de crescimento, a quantificação dos componentes de produção e uma avaliação econômica da cultura irrigada.

Experimento 2 - Lâminas de irrigação: No ano de 2005 foi realizado um experimento com cinco lâminas de irrigação, onde a lâmina máxima de água aplicada foi de 679,94mm, determinada pelo consumo hídrico obtido durante o ciclo da cultura no “**experimento 1 - 2005**” pela ET_c_BERB. O delineamento usado foi em blocos ao acaso e o experimento constou de 5 tratamentos e 6 seis repetições. As parcelas foram constituídas por três fileiras de 10 m (0,6 x 3 x 10) 18m². Os tratamentos representados pelas lâminas de água foram os seguintes: **T1** (403,19mm); **T2** (512,74mm); **T3** (562,36mm); **T4** (627,59mm) e **T5** (679,94mm).

Experimento 3 - Lâminas de irrigação: O experimento no ano de 2006 foi realizado com quatro lâminas, sendo que a lâmina de água máxima aplicada foi de 934,8mm e a lâmina de referência, determinada pelo consumo hídrico obtido durante o ciclo da cultura no “**experimento 1 - 2006**” pela ETc_BERB foi de 649,7mm. O experimento constou de 5 tratamentos e 6 seis repetições. O delineamento usado foi em blocos ao acaso com 4 tratamentos e 6 repetições. As parcelas foram constituídas por 5 fileiras de 12m (0,6 x 5 x 12) 36m². Os tratamentos representados pelas lâminas de água foram os seguintes:
T1 (541,1mm); **T2** (649,7mm); **T3** (801,8 mm) e **T4** (934,8mm)

3.5. Experimento 1

O trabalho foi realizado em uma área medindo 100,0 x 100,0m (1 ha), onde foram instalados sensores acoplados a um sistema de aquisição de dados para determinação da evapotranspiração da cultura (Figura 3.1). O fornecimento de água nas diferentes fases fenológicas durante todo o ciclo da cultura foi realizado utilizando-se as informações obtidas pelo método do balanço de energia segundo a razão de Bowen. Para determinar o rendimento, avaliar os componentes de produção, medir variáveis biológicas e proceder a análise de crescimento destrutiva, foram demarcadas cinco parcelas de 12 x 9m em uma faixa onde foram coletadas amostras em fileiras adjacentes à área útil que serviram para a estimativa de alguns componentes de produção e da produtividade; das características morfofisiológicas da cultura através da análise de crescimento e da partição de assimilados.

Cada parcela foi constituída de 15 fileiras de 12m de comprimento, espaçadas de 0,60 x 0,37m, com área de 9m x 12m (108 m²). A área útil de cada parcela ficou composta de 9 fileiras (9 x 0,6 = 5,4m) por 12m, correspondendo a uma área de (5,4 x 12) 64,8m (Figura 3.2). A cada 20 dias foram coletadas quatro plantas nas áreas adjacentes à área útil de cada parcela para determinação da fitomassa das raízes, caule + folhas e frutos. Posteriormente a fitomassa foi seca em estufa a 65°C, até as amostras ficarem com pesos constantes para determinação da partição dos assimilados. Foram determinados na área útil das parcelas dados de rendimento, crescimento e eficiência de uso de água.



Figura 3.1. Vista do Experimento 1 em áreas de 1 hectare em 2005 (E) e 2006 (D) com detalhe para o sistema de irrigação por aspersão, Barbalha-CE.

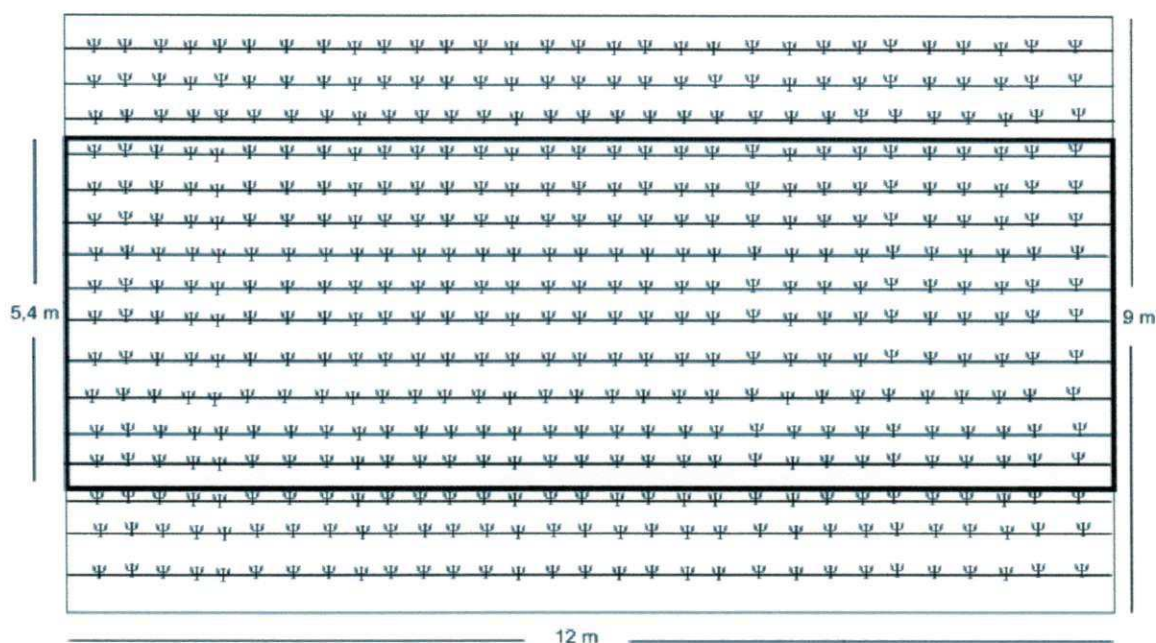


Figura 3.2. Detalhe da parcela do Experimento 1 realizado nos anos 2005 e 2006. Barbalha - CE.

O ciclo de produção da mamoneira foi dividido em cinco estádios fenológicos distintos: I) germinação até 10% de cobertura do solo; II) até inflorescência do até 1º cacho; III) até inflorescência do até 2º cacho; IV) inflorescência até maturação do 1º cacho; V) até maturação do 2º cacho.

3.5.1. - Eficiência de uso de água

A eficiência de uso da água foi determinada pela relação entre a produtividade da mamona em baga (semente) e o volume de água aplicado à

cultura (m³), conforme estudado por Doorenbos & Kassam (2000), Yazar et al., (2002), Viana (2005) e Bezerra (2007) cuja expressão é a seguinte:

$$EUA = \frac{P}{V} \quad (3.1)$$

Onde: P - corresponde a produção de mamona em baga (Kg); V - é o volume de água aplicado na cultura – VA (m³).

3.5.2. Instalação do sistema de irrigação

No *experimento 01*, as irrigações foram efetuadas semanalmente, fazendo-se a reposição da água em função do consumo hídrico da cultura com base no balanço de energia, segundo a razão de Bowen. Utilizou-se o método de irrigação por aspersão com aspersores Agropolo, cujos bocais possuíam 3,2 x 5,4 mm, trabalhando com uma pressão de serviço de 2,5 atm e espaçamento de 12 x 12m.

No *experimento 02* foram aplicadas lâminas de água igual e abaixo do volume determinado pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, obtida no "Experimento 1".

No *experimento 03* foram aplicados lâminas de água acima e abaixo do volume consumido estimado pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen.

3.5.3. Linha Central de Aspersores.

Nos experimentos 2 e 3, utilizou-se o Sistema de Linha Central de Aspersores. A tubulação da linha central era composta por tubos de 6m, diâmetro nominal 75 mm, contendo 8 aspersores AGROPOLO, tubo de subida de 1,00m, posteriormente substituídos por tubos de subida de 1,5m em função do aumento da altura das plantas, e espaçamento entre aspersores de 12 m. O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição de Christiansen (CUC) calculado para 2005 e 2006 foi de 85,0 %. Como foram feitos vários testes com coeficiente de uniformidade de distribuição de Christiansen (CUC) foi possível calcular a quantidade de água que estava sendo aplicado em cada faixa, de acordo com a distância das parcelas em relação à linha central de aspersores.

3.5.4. Consumo hídrico da mamoneira BRS Energia

Para determinação da lâmina de água padrão a ser aplicada nos experimentos 2 (2005) e 3 (2006), estimou-se a evapotranspiração da cultura através do balanço de energia baseado na Razão de Bowen (ETC – BERB) no “Experimento 1” (2005 e 2006). Esse critério foi adotado para que se pudesse repor a quantidade de água que a cultura realmente consumiu no tratamento padrão, sendo que as demais lâminas de água foram aplicadas em função desta lâmina de referência.

3.5.5. Balanço de energia baseado na razão de Bowen

O balanço de energia no sistema solo-planta-atmosfera foi constituído pelo saldo de radiação (R_n), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G). A estimativa da evapotranspiração da cultura foi obtida a partir da equação simplificada do balanço de energia, conforme Rosenberg et al. (1983):

$$R_n + LE + H + G = 0 \dots\dots\dots(3.2)$$

No balanço de energia definido por esta equação é necessário assumir que os fluxos descendentes são considerados positivos e os ascendentes são considerados negativos (OHMURA, 1982; LOPES et al., 2001). De modo idêntico, Silva et al., (2006) afirmam que neste processo, as densidades de fluxo que chegam à camada vegetativa são positivas, enquanto as que saem são negativas.

A razão entre as densidades de fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) foi proposta por Bowen em 1926. Como volume de controle foi considerada a superfície do solo como limite inferior e o topo da cultura como limite superior do sistema. A razão de Bowen ($\beta = H/LE$) foi estimada de acordo com a expressão (ROSENBERG et al., 1983):

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{P_0 C_p}{L \varepsilon} \left(\frac{K_h}{K_w} \right) \frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} = \gamma \left(\frac{K_h}{K_w} \right) \frac{\Delta T}{\Delta e} \dots\dots\dots(3.3)$$

De acordo com Verma et al. (1978), na ausência de advecção de calor sensível e em condições de neutralidade atmosférica, $K_h \cong K_w$, e considerando

que $\left(\frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} \right) \cong \Delta T / \Delta e$ a razão de Bowen pode ser escrita da seguinte forma:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \dots\dots\dots(3.4)$$

Os símbolos usados nas equações acima descrevem os seguintes parâmetros: k_h e k_w são os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e vapor d'água, respectivamente ($m^2.s^{-1}$); L é o calor latente de evaporação da água ($MJ.kg^{-1}$); C_p é o calor específico do ar seco à pressão constante ($MJ.Kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$); P_0 é a pressão atmosférica média local (kPa); ϵ é a razão entre as massas moleculares da água e do ar seco (0,622); β é a razão de Bowen; $\Delta T = t_2 - t_1$ e $\Delta e = e_2 - e_1$ são as diferenças de temperatura do ar e da pressão parcial do vapor d'água atmosférico, medidas em dois níveis acima da superfície vegetada $\Delta z = z_2 - z_1$ e γ é o fator psicrométrico ($kPa.^{\circ}C^{-1}$), obtido através da seguinte equação:

$$\gamma = \frac{C_p P_0}{L \epsilon} = 0,665 \times 10^{-3} P_0 \dots\dots\dots(3.5)$$

A estimativa da pressão parcial do vapor d'água (kPa), nos dois níveis acima do dossel da cultura, pode ser obtida através da equação de Ferrel (VAREJÃO SILVA, 2001):

$$e(T) = e_s(T_u) - 0,00066(1 + 0,00115T_u)(T_s - T_u)P_0 \dots\dots\dots(3.6)$$

sendo: $e(T)$ é a pressão parcial do vapor d'água (kPa); P_0 é a pressão atmosférica local (kPa); T_s e T_u são as temperaturas das termojunções seca e úmida respectivamente, expressas em $^{\circ}C$; $e_s(T_u)$ é a pressão de saturação do vapor d'água a temperatura úmida - T_u (kPa), calculada pela seguinte equação:

$$e_s(T_u) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T_u}{T_u + 237,3}\right) \dots\dots\dots(3.7)$$

Para obtenção da densidade do fluxo de calor latente em função do saldo de radiação, do fluxo de calor sensível no solo e dos gradientes verticais de temperatura e vapor d'água, substitui-se a equação 3.3 na equação 3.2 obtendo-se então:

$$LE = -\left(\frac{Rn + G}{1 + \beta}\right) \dots\dots\dots(3.8)$$

A densidade do fluxo de calor sensível foi obtida como resíduo da equação do balanço de energia, conforme a equação:

de ETc, em unidades de lâmina de água em um dado intervalo de tempo (mm.dia^{-1}), faz-se necessário dividir o valor obtido na equação 3.8 pelo calor latente de vaporização (L), integrando-se os resultados para o período do dia em que houver energia disponível, ou seja, quando $R_n - G > 0$.

3.5.6. – Sistemática de coleta de dados e instrumentação

No interior da área experimental foi instalada uma torre micrometeorológica em uma posição que permitiu a obtenção de uma bordadura, capaz de eliminar ou diminuir o efeito advectivo.

Os instrumentos utilizados na coleta dos dados necessários na determinação dos componentes do balanço de energia para estimativa da evapotranspiração da cultura com base na razão de Bowen foram: dois piranômetros para medição da radiação solar global (R_s) e refletida pela cultura (R_r); um saldo radiômetro para medição do saldo de radiação (R_n); dois psicrômetros com termopares de cobre e "constantan", instalados em dois níveis, 0,20 e 1,90m acima do dossel (topo) da cultura, com a finalidade de medir as temperaturas de bulbo seco e úmido; dois anemômetros para medir a velocidade do vento, em dois níveis, nas mesmas alturas dos sensores de temperatura; e, dois fluxímetros para medir o fluxo de calor no solo, um posicionado a 0,02m dentro de uma fileira e outro entre duas fileiras de plantas.

As leituras micrometeorológicas do experimento para fins do balanço de energia foram armazenadas, em um sistema automático de aquisição de dados (modelo CR 21X, Campbell Scientific.), programado para efetuar leituras dos sinais analógicos a cada cinco segundos e armazenar médias a cada 20 minutos. As médias foram coletadas em um módulo de armazenamento e, posteriormente transferidas para um computador, onde foram processadas em planilhas eletrônicas. O sistema de aquisição de dados foi alimentado por uma bateria de 12 Volts, mantida em condições de operação por um painel solar de 10 watts.

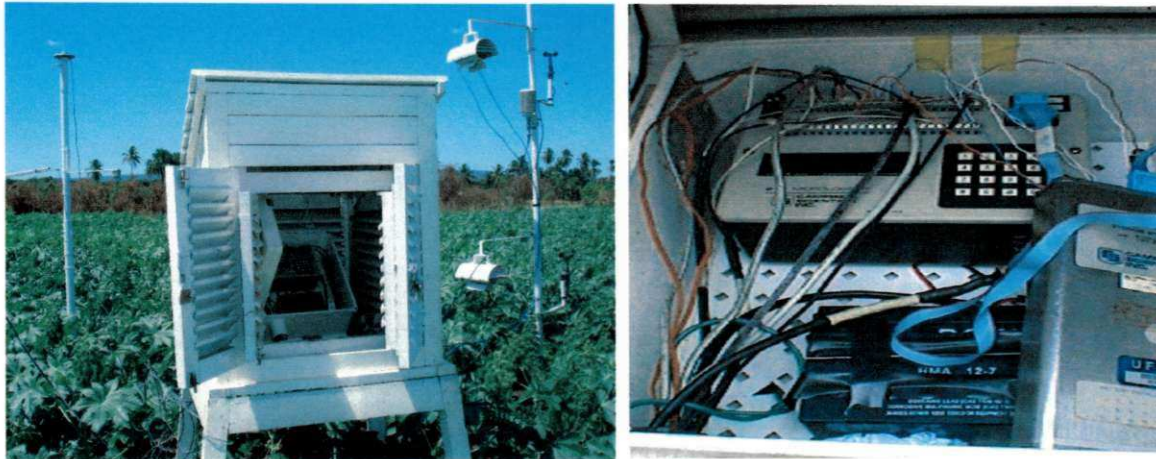


Figura 3.3. Detalhe da torre micrometeorológica com o sistema de aquisição de dados (E) e do módulo de armazenamento (D). Barbalha, CE, 2005.

3.5.7 - Evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência (ET_o), foi obtida com base no modelo da FAO-Penman-Monteith descritas por Allen et al. (1998).

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900}{T + 273}\right) U^2 \cdot (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U^2)} \dots\dots\dots (3.9)$$

Em que: **ET_o** é a evapotranspiração de referência (mm.d⁻¹); **R_n** é o saldo de radiação (MJ m⁻².dia⁻¹); **G** é o fluxo de calor no solo (Mjm⁻².d⁻¹); **T** é a temperatura média do ar (°C); **U²** é a velocidade média diária do vento a 2m acima da superfície (m.s⁻¹); **(e_a-e_d)** é o deficit de pressão do vapor d'água (KPa °C⁻¹); **Δ** é a declinação da curva de saturação do vapor d'água (KPa °C⁻¹); **γ** é a constante psicrométrica (KPa °C⁻¹).

3.5.8. - Coeficiente de cultura – K_c

O coeficiente de cultivo (K_c) foi obtido pela relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c), estimada pelo balanço de energia/razão de Bowen e a evapotranspiração de referência (ET_o), determinada pelo método FAO-Penman-Monteith, ou seja:

$$K_c = ET_c / ET_o \dots\dots\dots (3.10)$$

3.5.9 - Análise de crescimento

a) Análise de crescimento não destrutiva

As avaliações foram realizadas a cada 20 dias após a emergência, em cada uma das parcelas. Foram selecionadas quatro (4) plantas representativas da população da parcela para a análise de crescimento não destrutiva, que compreende as seguintes variáveis: Altura média de plantas – corresponde a distancia entre o colo da planta (superfície do solo) e a extremidade superior da haste principal ou parte superior do cacho; diâmetro caulinar – diâmetro do caule da planta à altura do colo, utilizando-se um paquímetro digital; área foliar da planta – a área foliar das plantas foram estimadas de conformidade com a equação 3.12, de acordo com o recomendado por Severino (2004). A área foliar foi estimada a partir da seguinte equação:

$$S = 0,2622xP^{2,4248} \dots\dots\dots(3.11)$$

Sendo: S área foliar(cm²); P comprimento da nervura principal; A área foliar da planta foi estimada a partir da seguinte equação:

$$AFP = \sum_{i=1}^n AF_i \dots\dots\dots(3.12)$$

Onde: AFP é a área foliar da planta (cm²) e n é o número de folhas da planta.

b) Análise de crescimento destrutiva

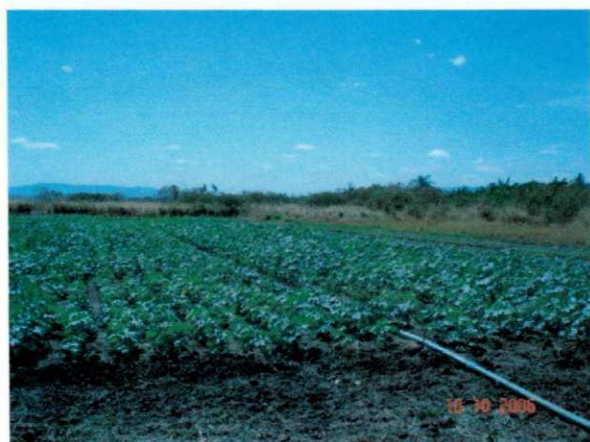
Para análise destrutiva, foram coletadas quatro plantas por parcela a cada 20 dias no experimento 1 (2005 e 2006) de tamanho representativo da população. O material foi fracionado em raiz, caule + folha e fruto e as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para uma estufa de circulação forçada, submetidas a uma temperatura de aproximadamente 65°C até atingirem o peso constante, momento em que se poderá assegurar que foi obtido o peso seco real. O material foi pesado em balança eletrônica com precisão de 0,01g.

A partir da medida dos valores obtidos a partir das referidas amostragens, foi avaliada a eficiência fisiológica da mamoneira, efetuada a partir das análises dos pesos secos da raiz, caule + folhas e frutos.

3.6. Experimento 2

Visando a determinação da eficiência de uso de água, da resposta fisiológica e econômica da cultura da mamoneira BRS Energia, foram testados cinco lâminas de água de irrigação. As lâminas foram aplicadas por meio de uma linha central de aspersores e foram as seguintes: 403,19; 512,74; 562,36; 627,59 e 679,94mm.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com cinco tratamentos e seis repetições, sendo cada parcela constituída de 3 fileiras de 10m (0,6 x 3 x 10) 18 m². A área útil ficou constituída de uma fileira de 10m (0,6 x 10m) ou 6 m². As variáveis avaliadas e procedimento estatístico são apresentadas a seguir:



L 1	L 2	L 3	L 4	L 5
L 1	L 2	L 3	L 4	L 5
L 1	L 2	L 3	L 4	L 5
L 1	L 2	L 3	L 4	L 5
L 1	L 2	L 3	L 4	L 5
L 1	L 2	L 3	L 4	L 5

Figura 3.4. Experimento 2 detalhando a linha central de aspersores, área experimental (E) e disposição das parcelas na área (D). Barbalha, CE, 2005.

3.6.1. Rendimento de grãos e de óleo

A produtividade de grãos foi determinada pela pesagem dos grãos de cada área útil da parcela, com os valores sendo extrapolados para (Kg.ha^{-1}). O rendimento de óleo em kg ha^{-1} , foi obtido a partir dos valores da produtividade de grãos e do percentual de óleo das sementes de cada parcela na seguinte expressão:

$$RO = (PTG \times PO) / 100 \dots\dots\dots(3.13)$$

Sendo: RO= Rendimento de óleo (kg ha^{-1}); PTG = Produtividade Total de Grãos (kg ha^{-1}); PO= Percentual de óleo das sementes.

3.6.2. Percentagem de óleo das sementes

As sementes foram colhidas do primeiro cacho e foram encaminhadas ao Laboratório da Embrapa Algodão em Campina Grande – PB, onde se determinou o teor de óleo nas sementes com umidade corrigida para 10%, por Ressonância Magnética Nuclear RMN de acordo com a metodologia descrita em Oxford Instruments (1995).

3.6.3. Altura de inserção do primeiro cacho (AIPC)

Altura de inserção do racemo primário foi determinada a partir de medições efetuadas na época da maturação, considerando-se para tanto a distância vertical em metros do nível do solo até a inserção do racemo primário.

3.6.4. Altura de plantas e diâmetro caulinar

A altura média das plantas foi determinada com o auxílio de uma trena de 2m, da base da planta até a folha mais alta ou ápice do ultimo racemo. O diâmetro caulinar foi determinado na época de maturação dos últimos racemos na base do caule com o auxílio de um paquímetro.

3.6.5. Comprimento do primeiro cacho

Para determinação do comprimento cacho, considerou-se apenas o primeiro cacho (racemo primário ou de primeira ordem), as medições foram efetuadas a partir do ponto de inserção do mesmo, utilizando-se para tanto uma trena de 2m.

3.6.6. Número de cachos por planta e número de frutos por cacho

Foi determinado na época da maturação dos frutos, considerando até os racemos de segunda ordem e aqueles de ramificações secundárias. Na obtenção do número de frutos por cacho foram considerados apenas aqueles de primeira ordem em plantas previamente identificadas ao acaso.

3.6.7. Peso de 100 sementes (g)

Foi realizado após secagem e beneficiamento dos frutos em balança eletrônica de precisão com aproximação decimal.

3.6.8. Análise estatística

Os dados obtidos na experimentação foram submetidos a análise da variância pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo na análise da variância, procedeu-se a análise de regressão. Todas as análises estatísticas foram procedidas pelo SAS, versão 9.1.3, através dos procedimentos "PROC GLM e PROC NLIN" (SAS/STAT, 2004).

3.7. Experimento 3

Seguiu o mesmo delineamento do Experimento 02. Foram estudadas quatro lâminas de água de irrigação: 541,1; 649,7; 801,8 e 934,8mm.

As lâminas de água de irrigação foram aplicados por meio de duas linhas de aspersores e constituídos de quatro tratamentos e seis repetições. No Experimento de 864 m², cada unidade experimental tinha uma área de 36 m², constituída de cinco fileiras espaçadas por 0,60m (três metros de largura) por 12m de comprimento. As duas fileiras das extremidades das parcelas foram consideradas como bordaduras. As três fileiras centrais foram consideradas úteis até sete metros de comprimento (0,60m x 3 fileiras x 7m = 12,6m²). Os cinco metros restantes foram destinados à análise destrutiva (0,60m x 3 fileiras x 5 m = 9,0 m²).



L4	L3	L2	L1
L4	L3	L2	L1
L4	L3	L2	L1
L4	L3	L2	L1
L4	L3	L2	L1
L4	L3	L2	L1

Figura 3.5. Detalhe da área do Experimento 3 aos 46 dias após emergência (E) e da disposição das parcelas na área (D). Barbalha, CE, 2006.



Figura 3.6. Experimento 3 aos 82 dias após emergência, detalhando a área com maior lâmina (E) e menor lâmina de água aplicada (D). Barbalha, CE, 2006.

Para a análise destrutiva, foram coletadas três plantas por parcela a cada 20 dias em fileiras adjacentes à área útil dos quatro metros restantes. A fitomassa total da planta foi dividida em peso de raízes, caule + folhas e frutos. Após secagem em estufa até as amostras ficarem com pesos constantes, determinou-se a partição de assimilados (partição vegetativa da matéria seca) aos 20, 40, 60, 80 e 100 dias. As variáveis avaliadas e procedimento estatístico são apresentadas a seguir:

3.7.1. Rendimento de grãos e de óleo

A produtividade de grãos foi determinada pela pesagem dos grãos de cada área útil da parcela, com os valores sendo extrapolados para (Kg.ha^{-1}).

3.7.2. Percentagem de óleo das sementes

As sementes foram colhidas do primeiro cacho e foram encaminhadas ao Laboratório da Embrapa Algodão em Campina Grande – PB, onde se determinou o teor de óleo nas sementes com umidade corrigida para 10%, por Ressonância Magnética Nuclear RMN de acordo com a metodologia descrita em Oxford Instruments (1995).

3.7.3. Número de internódios

O número médio de internódio no caule foi determinado no início da floração, pela contagem a partir do nível do solo até a região de inserção do racemo primário.

3.7.4. Altura de inserção do primeiro cacho (AIPC)

Foi determinada a partir de medições efetuadas na época da maturação, considerando-se para tanto a distância vertical em metros do nível do solo até a inserção do racemo primário.

3.7.5. Comprimento do primeiro (CCACHO1) e segundo cacho (CCACHO2).

Para determinação do comprimento dos cachos de primeira e segunda ordem, as medições foram efetuadas a partir do ponto de inserção do mesmo, utilizando-se uma trena.

3.7.6. Número de cachos por planta e Peso de 100 sementes (g)

Foi determinado na época da maturação dos frutos, considerando até os racemos de segunda ordem e aqueles de ramificações secundárias. As sementes foram pesadas após secagem e beneficiamento.

3.7.7. Número de frutos no primeiro e segundo cachos

Na obtenção do número de frutos por cacho foram considerados aqueles de primeira e segunda ordem em plantas previamente identificadas ao acaso.

3.7.8. Crescimento e desenvolvimento da mamoneira, cultivar BRS Energia

Foram realizadas medições de altura e diâmetro caulinar aos 20, 40, 60, 80 e 100 dias após emergência das plantas (DAE).

3.7.9. Análise estatística

Os dados obtidos na experimentação foram submetidos a análise da variância pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade. Quando verificado efeito significativo na análise da variância, procedeu-se a análise de regressão. Todas as análises estatísticas foram procedidas pelo SAS, versão 9.1.3, através dos procedimentos "PROC GLM e PROC NLIN" (SAS/STAT, 2004).

Neste trabalho, utilizou-se o modelo sigmóide $eY_i = \frac{\alpha}{1 + e^{-(\beta + \alpha_i)}} + \xi_i$, onde α , β e θ são parâmetros a serem estimados, sendo $\alpha > 0$ e $\theta > 0$.

Este modelo de regressão é indicado para estudos de crescimento de animais e vegetais e vários softwares estatísticos, tais como o SAS e o Statistica, estimam os seus parâmetros. Dentre estes softwares estatísticos, o SAS é o mais utilizado pelos pesquisadores brasileiros devido a sua facilidade de programação.

Os dados das variáveis fisiológicas e de produtividade foram analisados através de variância e teste F. Para o fator lâminas de irrigação, por ser de natureza quantitativa, realizou-se a análise de regressão polinomial.

As variáveis de crescimento (altura de planta e diâmetro caulinar), foram analisados por estudos de regressão não linear, especialmente o modelo sigmóide conhecido também por regressão logística (HOFFMANN, 1998). Para a área foliar e fitomassa seca da planta, usa-se um modelo de regressão polinomial cúbica, normalmente não se utiliza o modelo logístico para estas variáveis devido a senescência foliar (CALBO et al., 1989 e 1989a; FERREIRA, 2000).

3.8 - Eficiência econômica da mamoneira, cultivar BRS Energia

A determinação da eficiência econômica foi realizada com a obtenção da relação benefício custo (RBC) de cada um dos tratamentos testados e a taxa marginal de retorno (TMR) obtida a partir da aplicação de diferentes lâminas de irrigação na cultura da mamona.

As lâminas, aplicadas por meio de uma linha central de aspersores em 2005 foram de: 403,19; 512,74; 562,36; 627,59 e 679,94mm. As médias de rendimento obtidas para cada lâmina foram calculadas e estimadas para um hectare.

Para realização da análise física e econômica da produção, foram coletadas as informações de quantidade e custo dos insumos, o custo da mão-de-obra utilizada e o custo do preparo de solo, visando estabelecer a curva de melhor resposta, de acordo com a metodologia adaptada de Queiroz et al. (1996). Para tanto foram obtidos as seguintes variáveis: P_i – Preço unitário de venda da mamona em bagas (R\$.kg⁻¹); PD_i – Produção obtida com a aplicação de LI_i (kg.ha⁻¹); LI_i – Lâmina de irrigação (mm); CIT_i – Custo independente do tratamento (R\$.ha⁻¹); CDT_i – Custo dependente do tratamento (R\$.ha⁻¹); PD_i – Produção da mamona em bagas de cada tratamento (kg.ha⁻¹); RB_i – Renda bruta auferida para cada tratamento (R\$.ha⁻¹); RL_i – Renda líquida obtida por cada tratamento (R\$.ha⁻¹); RBC – Relação benefício custo; TMR – Taxa marginal de retorno.

O custo independente do tratamento (CIT_i) correspondeu a todos os custos de produção, com exceção daqueles diretamente relacionado ao custo da água, do beneficiamento, da mão de obra da irrigação e da colheita, que variaram em função dos tratamentos estudados. Portanto, o custo independente do tratamento foi determinado a partir da seguinte expressão:

O custo independente do tratamento (CIT_i) correspondeu a todos os custos de produção, com exceção daqueles diretamente relacionado ao custo da água e de colheita, que variaram em função dos tratamentos estudados. Portanto, o custo independente do tratamento foi determinado a partir da seguinte expressão:

$$CIT_i = (C_{INS} + C_{MO} + C_{PS}) \dots \dots \dots (3.14)$$

Onde: C_{INS} corresponde ao custo dos insumos utilizados, C_{MO} , ao custo com mão-de-obra, C_{PS} ao custo com preparo de solo, C_A ao custo com água e C_C ao custo com colheita.

O valor do custo dependente do tratamento (CDT_i) foi calculado com base no preço de energia cobrado pela concessionária, relativo ao bombeamento da água para irrigar um hectare, com o sistema de irrigação instalado (Almeida et al., 2004), acrescido do custo de colheita, que variou em função do rendimento obtido, o qual foi calculado segundo a expressão:

$$CDT_i = C_a - C_c \dots \dots \dots (3.15)$$

Com base nestes parâmetros, foram calculadas a renda bruta (RB_i) e a renda líquida (RL_i) para cada um dos tratamentos estudados, utilizando-se as seguintes expressões:

Para renda bruta:

$$RB_i = P_i \cdot PD_i \dots\dots\dots(3.16)$$

Para renda líquida:

$$RL_i = P_i \cdot PD_i - (CIT_i + CDT_i) \dots\dots\dots(3.17)$$

A relação benefício/custo (RBC), resultante da razão entre os benefícios auferidos pelo sistema de produção e o custo total do sistema, é dada pela expressão:

$$RBC_i = \frac{RB_i}{CT_i} \dots\dots\dots(3.18)$$

A taxa marginal de retorno (TMR), dada em percentagem, pode ser definida pela relação entre a diferença de renda líquida (RL_i) auferida entre dois tratamentos em relação ao custo dependente dos tratamentos (CDT) entre dois tratamentos testados, pode ser determinada pela equação:

$$TMR_{i-(i-1)} = \frac{RL_i - RL_{i-1}}{CDT_i - CDT_{i-1}} \dots\dots\dots(3.19)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. EXPERIMENTO 1 - 2005/2006

4.1.1. Condições climáticas e irrigações

Os principais elementos climáticos observados durante as campanhas experimentais nos anos de 2005 e 2006 são apresentados nas Figuras 4.1; 4.2 e 4.3. A temperatura média no período de execução dos experimentos para o ano de 2005 foi de 28,3°C, a média das temperaturas máximas 35,1°C e a média das temperaturas mínimas de 21,6°C. Em 2006, a temperatura média foi de 28,1°C, enquanto que a média das máximas foi 34,9°C e a média das mínimas 21,2°C (Figura 4.1).

De acordo com dados fornecidos por BRASIL (1992), para as condições normais de Barbalha – CE (1961 a 1990), no período de setembro a dezembro tem-se uma temperatura média 26,5°C, com a média das temperaturas máximas 33,6°C e a média das mínimas de 21,2°C. Para Severino (2007), em condições adversas, como extremos de temperatura, é comum os racemos apresentarem uma grande quantidade de flores masculinas e poucas femininas, o que provoca redução da produtividade. Beltrão & Silva (1999), salientam que a variação da temperatura deve ser de 20 a 35°C para que haja produções que assegurem valor comercial, estando a temperatura ótima para a planta em torno de 28°C. Temperaturas superiores a 40°C, provocam aborto das flores, reversão sexual das flores femininas em masculinas e redução do teor de óleo nas sementes

Com relação à umidade relativa do ar, nos meses de outubro e novembro de 2005 obteve-se valores médios de 48,7% e 50,4%, respectivamente, enquanto que os valores normais (1961 a 1990), segundo BRASIL (1992), são de 58% e 60%, para os meses citados, respectivamente.

A radiação global média para o período do estudo foi de 21,94 W.m⁻², com máxima de 29,41 W.m⁻². Os baixos valores de radiação global registrados entre 04 e 09 de dezembro de 2005, deve-se ao fato da ocorrência de precipitações e da presença de uma forte nebulosidade. Na Figura 4.2, observa-se tendências opostas entre radiação solar global e umidade relativa neste período.

Ainda para o ano de 2005, a evapotranspiração de referência acumulada (ET_o) foi de 601,15mm, calculada através do método FAO-Penman-Monteith, conforme descritas por Allen et al. (1998).

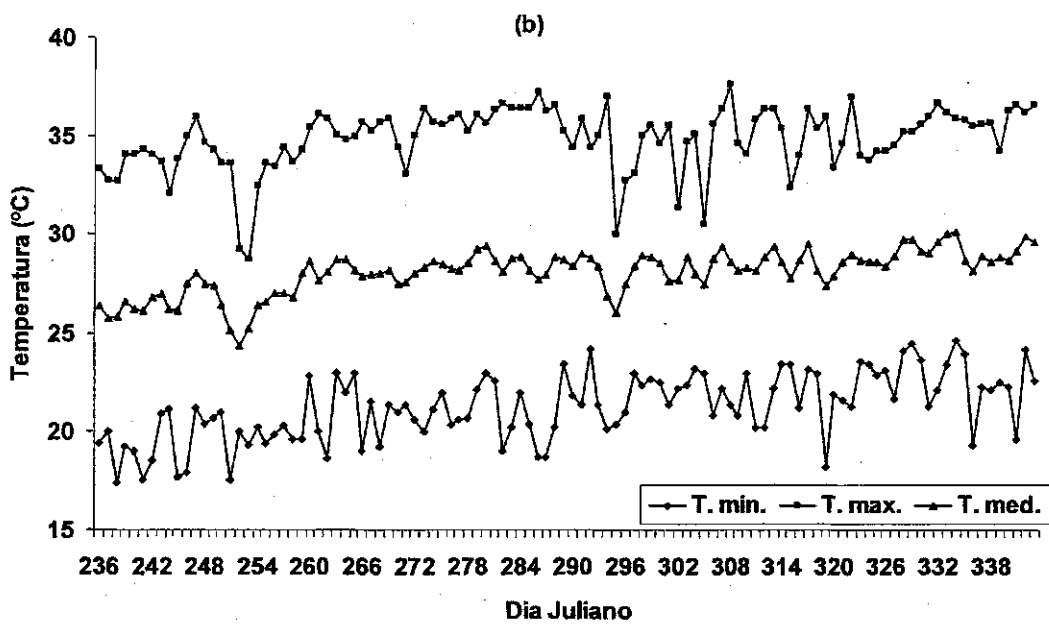
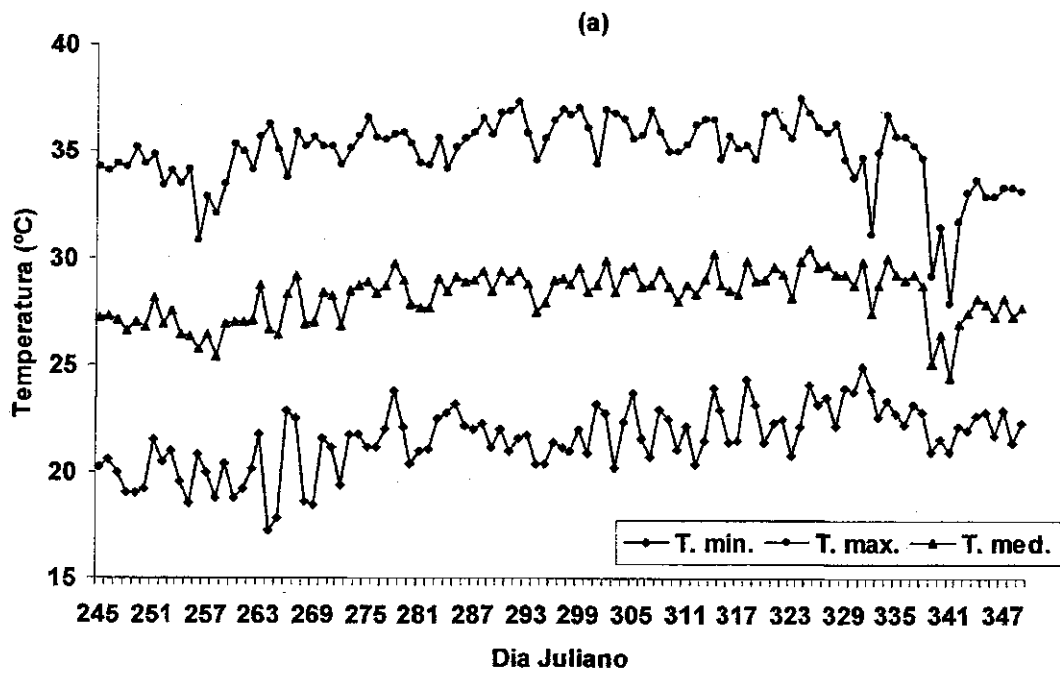


Figura 4.1. Valores diários de temperaturas máximas, médias e mínimas do ar para os anos de 2005 (a) e 2006 (b). Barbalha, CE.

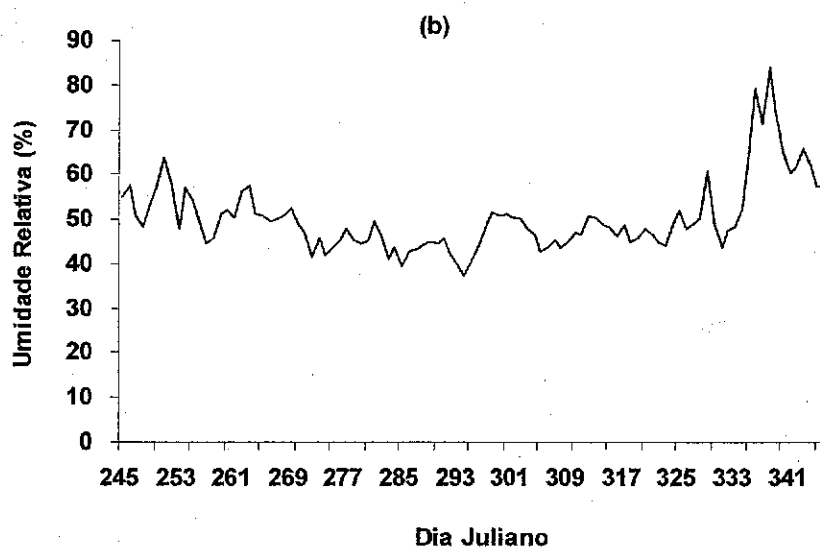
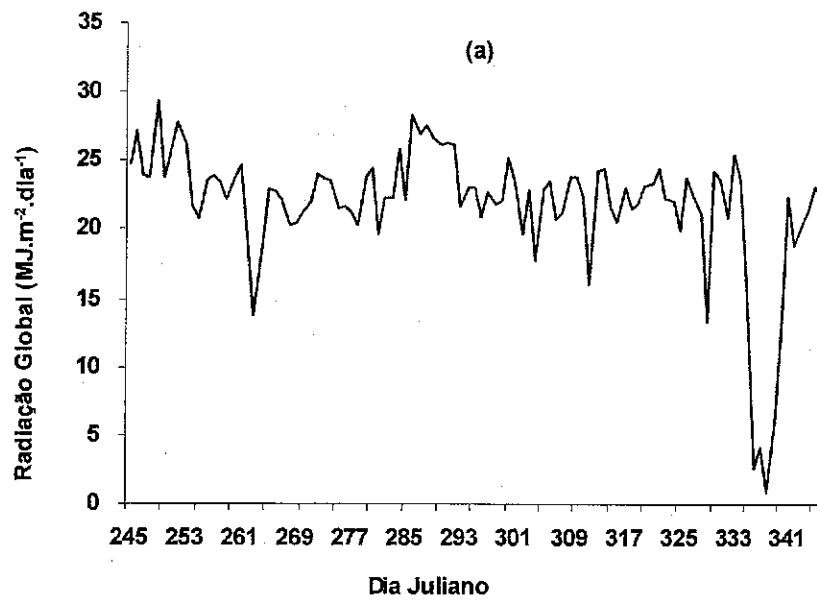


Figura 4.2. Variação estacional da radiação solar global (a) e da umidade relativa do ar (b) no ano de 2005 para o município de Barbalha, CE.

A demanda evapotranspirativa média do período foi de $5,67 \text{ mm.dia}^{-1}$. Em termos de velocidade média do vento, foi constatado para o período $1,49 \text{ m.s}^{-1}$, com máxima de $3,47 \text{ m.s}^{-1}$ no dia 15 de setembro e mínima de $0,58 \text{ m.s}^{-1}$ no dia 11 do mesmo mês (Figura 4.3).

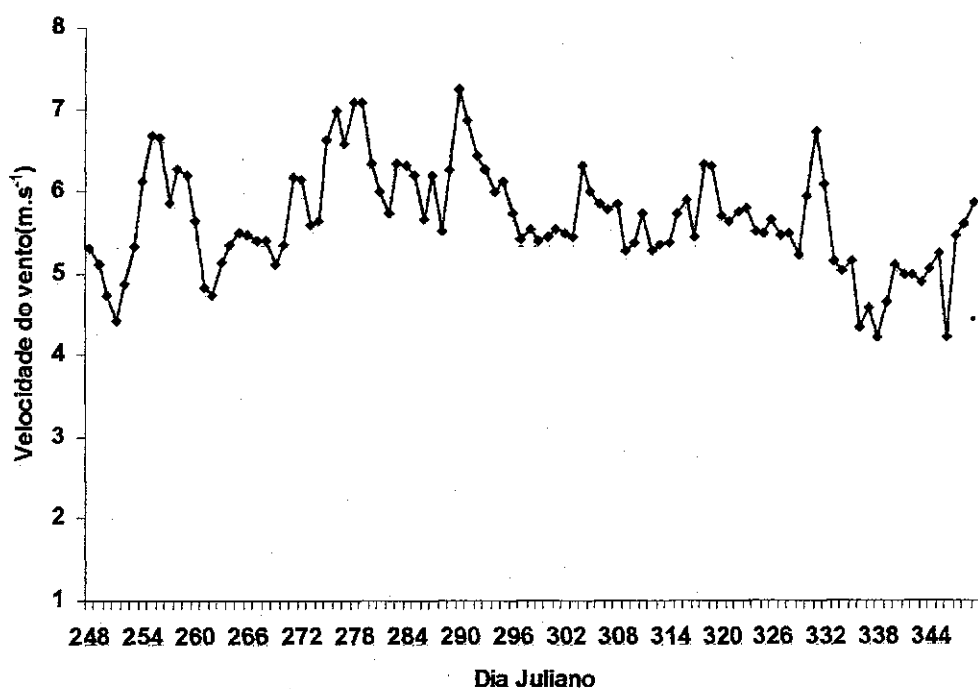


Figura 4.3. Variação estacional da velocidade do vento no ano de 2005 para o município de Barbalha, CE.

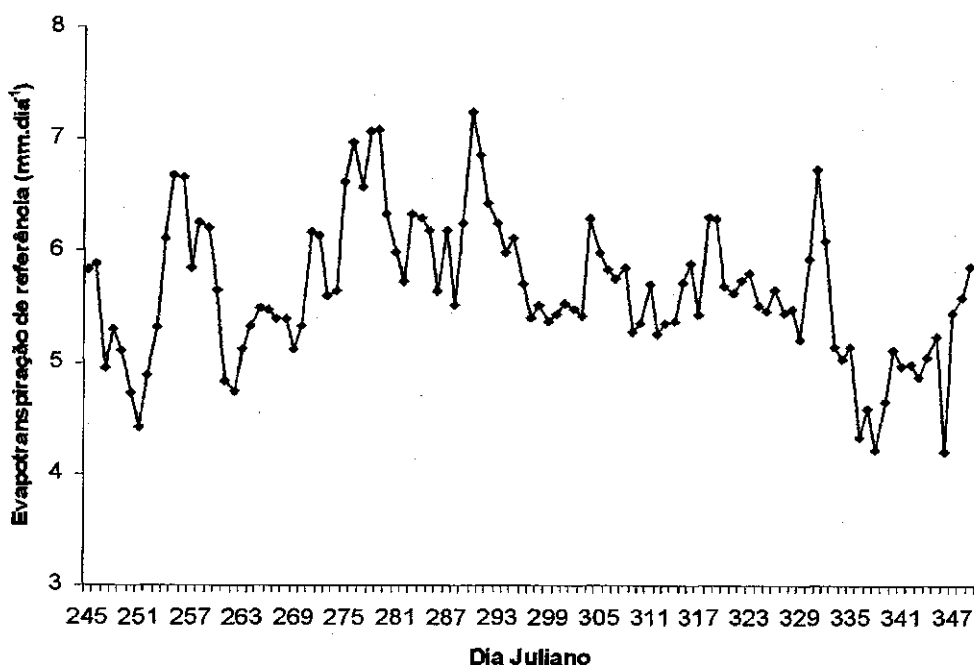


Figura 4.4. Variação estacional evapotranspiração de referência no ano de 2005 para o município de Barbalha, CE.

4.1.2. Fenologia da mamoneira, cultivar BRS Energia

O ciclo de produção da mamoneira foi caracterizado em função da ocorrência dos principais processos fisiológicos, sendo dividido em cinco fases fenológicas distintas. A definição das fases fenológicas foi de acordo com as observações realizadas no campo e caracterizadas conforme descritas nas tabelas 4.1 e 4.2. Doorenbos & Pruitt (1997), recomendam, para culturas extensivas, que o período vegetativo total seja dividido em quatro fases: inicial, de crescimento, período intermediário e período final.

Verificou-se que a Fase 1 (F1) teve duração de 12 dias e correspondeu ao período da emergência das plantas a até, aproximadamente, 10% de cobertura do solo. O período de apenas 12 dias para que a cultura já tenha atingido 10% de cobertura do solo, se deve ao fato de que esta foi submetida ao adensamento (espaçamento de 0,60 x 0,37m), o que promoveu uma cobertura do solo mais rapidamente. A Fase 2 (F2), teve duração de 25 dias e correspondeu a fase do desenvolvimento vegetativo, foi de 10% de cobertura de solo a até o início da floração, tendo sido incluído nesta o período de 5 dias referente ao surgimento dos botões florais, período que antecedeu o surgimento das inflorescências. A Fase 3 (F3) correspondeu à fase do início do desenvolvimento reprodutivo,

compreendeu um intervalo que foi do início da floração do primeiro cacho ou racemo primário ao surgimento da inflorescência do segundo cacho ou racemo secundário e teve duração de 17 dias. A fase 4 (F4), se estendeu do final da F3 até a maturação do racemo primário (1º cacho), teve uma duração de 35 dias (Tabela 4.1) para o ano de 2005 e de 36 dias (Tabela 4.2) para o ano de 2006. A Fase 5 (F5), que compreendeu à fase final do ciclo da cultura, compreendeu o período entre a maturação do racemo primário até a maturação completa dos racemos secundários, tendo duração de 17 e 18 dias, respectivamente, para os anos de 2005 e 2006.

Tabela 4.1. Fases fenológicas da mamoneira, cultivar BRS Energia, no período de 02 de setembro a 16 de dezembro de 2005, Barbalha CE.

Fases do desenvolvimento		Período (DAE)	Número de dias
F1	Germinação até 10% de cobertura do solo	1-12	12
F2	F1 - até inflorescência do até 1º cacho	13-37	25
F3	F2 - até inflorescência do até 2º cacho	38-54	17
F4	F3 - maturação do 1º cacho	55-89	35
F5	F4 - maturação do 2º cacho	90-106	17
Total			106

Tabela 4.2. Fases fenológicas da mamoneira, cultivar BRS Energia, no período de 24 de agosto a 09 de dezembro de 2006, Barbalha CE.

Fases do desenvolvimento		Período (DAE)	Número de dias
F1	Germinação até 10% de cobertura do solo	1-12	12
F2	F1 - até inflorescência do até 1º cacho	13-37	25
F3	F2 - até inflorescência do até 2º cacho	38-54	17
F4	F3 - maturação do 1º cacho	55-90	36
F5	F4 - maturação do 2º cacho	91-108	18
Total			108

4.1.3. Evapotranspiração da cultura

Na Figura 4.5 é apresentado o comportamento estacional da evapotranspiração diária ao longo do ciclo de desenvolvimento da mamoneira de ciclo precoce, cultivar BRS Energia, para o período de 02 de setembro de 2005 a 16 de dezembro de 2005, período do ciclo da cultura, onde foram estimados os valores de ETC pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen. Observa-se que houve muita variação da evapotranspiração ao longo do ciclo fenológico da mamoneira no ano de 2005. O valor mínimo de ETC observado foi de $3,29 \text{ mm.dia}^{-1}$ na fase inicial de crescimento, aos nove de Setembro, oito dias após a emergência das plantas (Dia Juliano 252). O valor máximo verificado foi de $7,65 \text{ mm.dia}^{-1}$ na fase de maior consumo hídrico da cultura, que foi a fase compreendida entre a emissão da inflorescência do segundo cacho até a maturação do cacho primário, aos sete de novembro de 2005 (sessenta e sete DAE (Dia Juliano 311)).

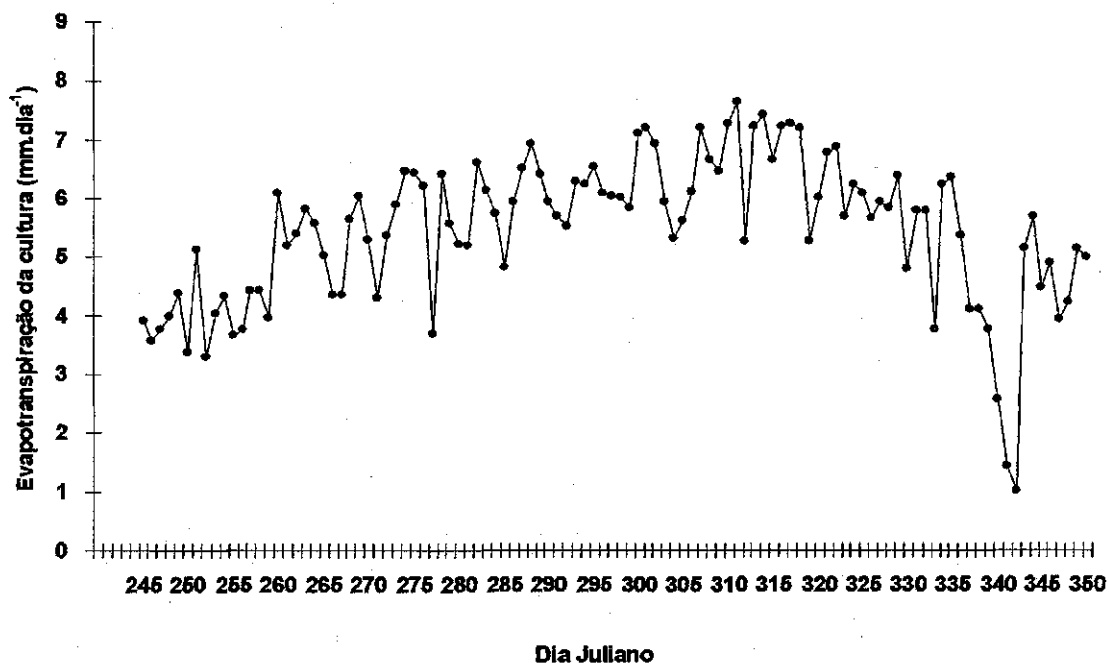


Figura 4.5. Evolução estacional da evapotranspiração diária da mamoneira BRS Energia, obtida pela razão de Bowen, para Barbalha CE, 2005.

Não foi considerado, para fins de evapotranspiração mínima, os dias 06/12 ($2,58 \text{ mm.dia}^{-1}$), 07/12 ($1,45 \text{ mm.dia}^{-1}$) e 08/12 ($1,02 \text{ mm.dia}^{-1}$) aos 96, 97 e 98 DAE, respectivamente, devido a ocorrência de chuvas e a presença de uma forte nebulosidade nesta fase, causando decréscimos acentuados nos valores de

evapotranspiração pelo método do BERB, faltando apenas oito dias para completar o ciclo da cultura.

Na figura 4.6 é apresentado o comportamento estacional da evapotranspiração diária ao longo do ciclo de desenvolvimento da mamoneira de ciclo precoce, cultivar BRS Energia, para o período de 24 de agosto de 2006 a 09 de dezembro de 2006, período do ciclo da cultura, onde foram estimados os valores de ET_c pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen (ET_c - BERB).

A exemplo do ocorrido para o ano de 2005, verifica-se que houve bastante variação da evapotranspiração ao longo do ciclo fenológico da mamoneira no ano de 2006. O valor mínimo de ET_c observado foi de $2,87 \text{ mm.dia}^{-1}$ na fase inicial de crescimento. O valor máximo verificado foi de $6,56 \text{ mm.dia}^{-1}$ na fase de maior demanda hídrica da cultura, que foi a fase compreendida entre a emissão da inflorescência do segundo cacho até a maturação do cacho primário, aos sessenta e dois dias após a emergência das plantas.

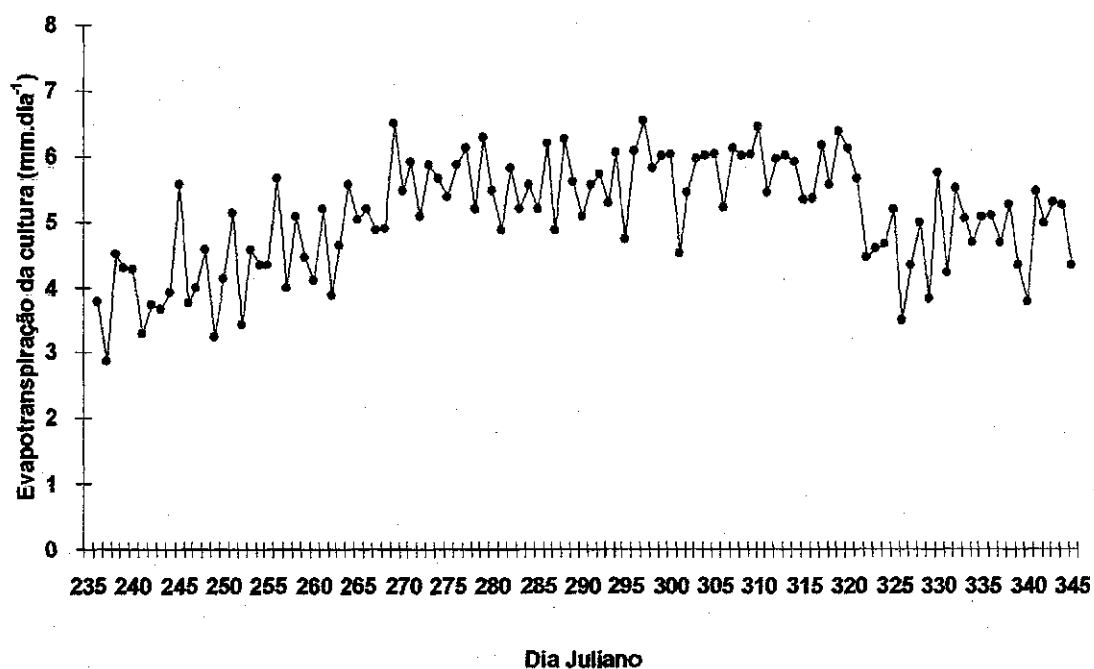


Figura 4.6. Evolução estacional da evapotranspiração diária da mamoneira BRS Energia, obtida pela razão de Bowen, para Barbalha CE, 2006.

Esse comportamento bastante variável foi observado por Rodrigues (2003) no algodoeiro herbáceo cultivar BRS 201 e por Bezerra (2007), na

evapotranspiração do algodão colorido cv. BRS 200 – MARROM, irrigado. Estas variações nos valores de ET_c podem está associadas às variações da demanda atmosférica que influenciam o processo, caracterizada pela radiação solar global, efeito da velocidade do vento e da umidade relativa (ROSENBERG et al., 1983). De acordo com Souza (2003), essa variação durante a mesma fase fenológica pode ser decorrente das condições meteorológicas locais e da duração da fase fenológica. Por sua vez Moura (2005), informa que o aumento da ET_c , decorrente da elevação da demanda evaporativa da atmosfera, dentre outros fatores, é causada pelo aumento da radiação solar global.

A evapotranspiração da cultura da mamoneira apresentou, frequentemente, valores mais elevados após irrigações ou chuvas, quando em decorrência da maior disponibilidade de água no solo e da energia disponível para o processo de evapotranspiração, estando de acordo com estes autores: (ROSENBERG et al., 1983; RODRIGUES, 2003; BEZERRA, 2007). A exceção a esta situação ocorreu no final do ciclo da cultura, no período de 07 e 09 de dezembro. Constatou-se, nesse período, dias consecutivos de intensa nebulosidade e precipitação, acarretando quedas na temperatura (Figura 4.1), na evapotranspiração de referência (Figura 4.3) e queda na radiação solar global com elevação pronunciada na umidade relativa do ar (Figura 4.3), o que resultou em baixo valor da evapotranspiração da cultura (Figura 4.5), mesmo com alto conteúdo de umidade do solo.

Na Tabela 4.3 são apresentados os valores médios da evapotranspiração (ET_c - BERB) da mamoneira, cultivar BRS Energia por fase fenológica, no período de 02 de setembro a 16 de dezembro de 2005. Para valores médios da evapotranspiração diária, por fase do ciclo fenológico, verifica-se um mínimo de $3,94 \text{ mm.d}^{-1}$, no início do desenvolvimento vegetativo (Fase I) e um máximo, $6,31 \text{ mm.d}^{-1}$ na fase IV, que compreende o período entre o surgimento da inflorescência do segundo cacho e vai até a maturação do primeiro cacho. Observa-se, ainda, na Tabela 4.3, que a evapotranspiração da cultura foi crescente da Fase I até a Fase IV, onde alcançou o máximo e voltou a decrescer. A evatranspiração total da cultura no ano de 2005 foi de $577,94 \text{ mm}$, com um consumo mínimo de $47,24$ (período 12 dias) na fase inicial e um máximo de $220,93$ (35 dias) na fase IV. O ciclo da cultura da mamona, período compreendido entre a emergência das plantas até a maturação completa dos racemos de

segunda ordem, foi de 108 dias. O consumo total de água da mamoneira, cultivar BRS Energia, estimado pela Razão de Bowen no ano de 2006, entre 24 de agosto e 09 de dezembro, foi de 552,28mm, sendo o consumo mínimo na fase inicial de 47,59 e o consumo máximo na fase IV de 203,78mm.

Tabela 4.3. Valores médios da evapotranspiração da mamoneira, cultivar BRS Energia em suas diversas fases fenológicas, no período de 02 de setembro a 16 de dezembro de 2005, Barbalha CE.

Fase Fenológica		Número de dias	ETc médio (mm.d ⁻¹)	ETc da fase (mm)
F1	Germinação até 10% de cobertura do solo	12	3,94	47,24
F2	F1 - até inflorescência do até 1º cacho	25	5,30	132,55
F3	F2 - até inflorescência do até 2º cacho	17	6,09	103,60
F4	F3 - maturação do 1º cacho	35	6,31	220,93
F5	F4 - maturação do 2º cacho	17	4,33	73,62
Total		106		577,94

Tabela 4.4. Valores médios da evapotranspiração (ETc) da mamoneira, cultivar BRS Energia em suas diversas fases fenológicas, no período de 24 de agosto a 09 de dezembro de 2006, Barbalha CE.

Fases fenológicas		Número de dias	ETc médio (mm.d ⁻¹)	ETc da fase (mm)
F1	Germinação até 10% de cobertura do solo	12	3,97	47,59
F2	F1 - até inflorescência do até 1º cacho	25	4,77	119,37
F3	F2 - até inflorescência do até 2º cacho	17	5,62	95,57
F4	F3 - maturação do 1º cacho	36	5,66	203,78
F5	F4 - maturação do 2º cacho	18	4,78	85,97
Total		108		552,28

4.1.4. Coeficiente de Cultura

Os valores do coeficiente de cultura médio (Kc_BERB) da cultura da mamona precoce, irrigada pelo método da aspersão convencional, cv. BRS Energia foram calculados por fase fenológica para um ciclo de cultivo de cento e oito dias (Figura 4.7). Os valores foram obtidos dos valores médios da ETc_BERB e da evapotranspiração de referência (ETo), determinada pelo método FAO-Penman-Monteith, para as respectivas fases fenológicas. A variação estacional dos valores médios do coeficiente de cultivo (Kc) por fase fenológica para a mamoneira irrigada, refere-se ao período de para o período de 02 de setembro a 16 de dezembro de 2005. Os valores médios de Kc por fase fenológica foram de 0,73; 0,92; 1,01; 1,11 e 0,87. O elevado valor de Kc inicial de 0,73 foi motivado também pela ocorrência de um dia atípico de evapotranspiração no intervalo de 12 dias que foi de $1,2\text{mm.dia}^{-1}$. O método de irrigação por irrigação aliada ao método de determinação de evapotranspiração pela demanda atmosférica (Razão de Bowen), possivelmente também influenciaram esses valores.

De acordo com Doorenbos & Pruitt (1997), durante a fase de crescimento inicial, a evaporação na superfície do solo pode ser considerável, principalmente quando este permanece úmido a maior parte do tempo, devido às irrigações ou chuvas. Daí a grande diversidade de valores de Kc durante a primeira fase do período vegetativo. Assim, cada irrigação ou chuva pode produzir um forte aumento de Kc , com uma redução menos pronunciada, porém sensível posteriormente, até chegar a próxima irrigação ou chuva.

Moura (2005), investigando a coeficiente de cultivo (Kc) da goiabeira pela evapotranspiração da cultura (ETc) pelo método do balanço hídrico do solo (ETc_BHS) e pela evapotranspiração da cultura baseado na razão de Bowen ($ETC - BERB$), adotou este último para determinação do Kc da cultura.

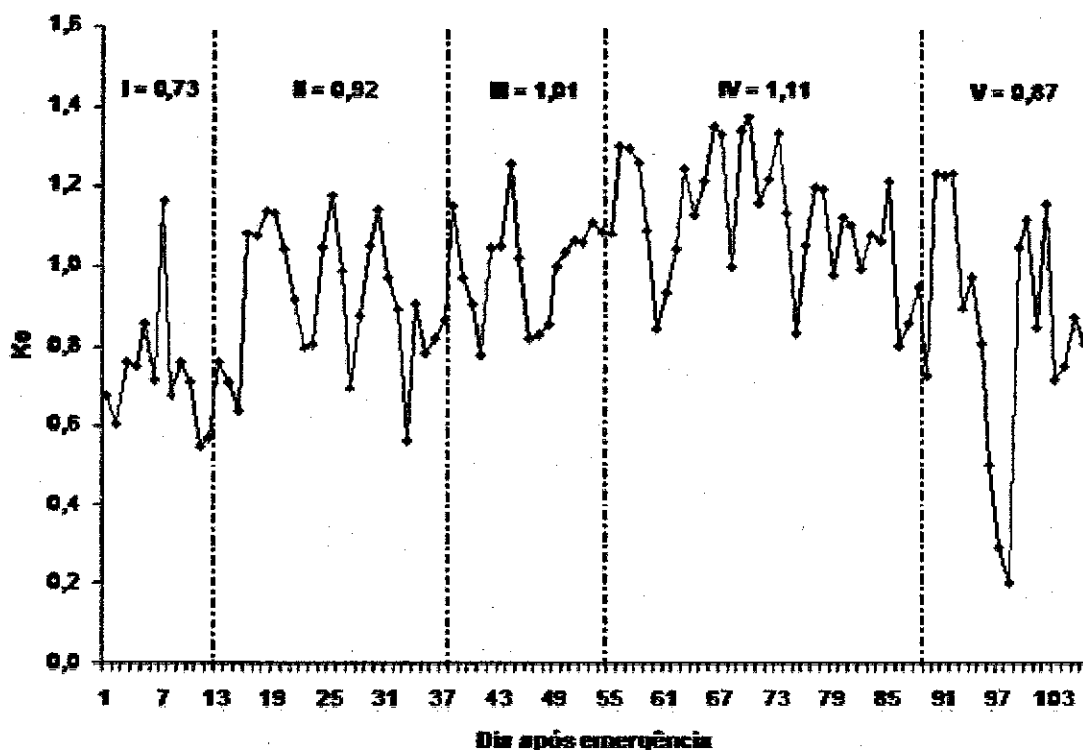


Figura 4.7. Coeficiente de cultivo da mamoneira BRS Energia. Barbalha – CE, 2005

4.1.5. Dados de crescimento e rendimento da cultura

O rendimento médio de grãos (bagas) da cultura da mamona cv BRS Energia no ano de 2005 foi de 3389 Kg.ha⁻¹, em resposta a uma lâmina de água aplicada de 679,94mm, enquanto que em 2006 a produtividade obtida foi de 3221 Kg.ha⁻¹ para uma lâmina de água de 649,7mm (Tabela 4.5). Gondim (2004), relata que o genótipo CSRN-142, material que originou a cultivar BRS Energia, atingiu bom potencial produtivo e adaptação à região do Cariri cearense, com produtividade máxima 3494 Kg.ha⁻¹ em cultivo irrigado, plantado na configuração de 0,60m x 0,37m, com frequência de irrigação semanal. Com relação a percentagem de óleo encontrada nas sementes de 49,65 em 2005 e de 50,20 em 2006, estes valores estão coerentes com aqueles divulgados para a cultivar que, segundo a EMBRAPA (2007a), é de 48%.

A altura média de plantas verificada aos 100 dias após emergência foi 139,83cm para 2005 e 135,75cm em 2006, enquanto que o diâmetro médio verificado foi de 21,96cm e 20,55cm para os anos de 2005 e 2006, respectivamente (Tabela 4.6). Nestas condições de irrigação e densidade,

Gondim (2004), observou altura média de plantas de 134,4cm e diâmetro de 16,06cm.

Tabela 4.5. Rendimento médio de grãos e percentagem de óleo para a cultura da mamona precoce irrigada nos anos de 2005 e 2006 em Barbalha – CE.

ANO	Rendimento (Kg.ha ⁻¹)					MÉDIA
	P1	P2	P3	P4	P5	
2005	3277	3444	3193	3754	3278	3389
2006	3534	3160	2937	3197	3278	3221
Percentagem de óleo						
2005	51,12	48,75	49,14	49,89	49,33	49,65
2006	48,35	49,78	50,82	50,99	51,05	50,20

Tabela 4.6. Altura média de plantas e diâmetro caulinar para a cultura da mamona irrigada aos 100 DAE nos anos de 2005 e 2006 em Barbalha – CE.

ANO	Altura de plantas (cm)					MÉDIA
	P1	P2	P3	P4	P5	
2005	150,50	143,50	148,00	133,50	123,65	139,83
2006	131,25	139,75	132,00	143,75	132,00	135,75
Diâmetro caulinar (cm)						
2005	23,54	21,76	22,17	22,78	19,54	21,96
2006	17,99	20,42	22,02	19,68	22,64	20,55

Tabela 4.7. Valores dos componentes da produção número de cachos por planta (CPP), número de frutos por cacho (NFC) e peso de 100 sementes (Kg) para a cultura da mamona nos anos de 2005 e 2006 em Barbalha – CE.

ANO	Número de cachos por planta					MÉDIA
	P1	P2	P3	P4	P5	
2005	4,00	3,00	3,00	4,33	3,33	3,53
2006	3,00	4,50	3,00	3,00	4,00	3,50
Número de frutos por cacho (NFC)						
2005	67	71	47	58	66	61,8
2006	52	57	61	57	56	56,6
Peso de 100 sementes (Kg)						
2005	34,40	35,03	35,20	35,30	34,60	34,91
2006	34,88	35,20	34,80	35,20	36,40	35,30

Na Tabela 4.7 encontram-se os valores dos componentes da produção. O número médio de cachos por planta encontrado para os dois anos foi de 3,53 (2005) e 3,50 (2006). Para a variável número de frutos por cacho esses valores foram de 61,8 (2005) e 56,6 (2006). Com relação ao peso de 100 sementes, esses foram de 34,91 e 35,30g, respectivamente para 2005 e 2006.

4.1.6. Eficiência de uso de água pela mamoneira

A partir da relação entre o rendimento da cultura e o volume de água aplicado, foi determinada a eficiência de uso de água da cultivar BRS Energia. A eficiência média verificada foi de 0,498 e 0,474 Kg.m^{-3} , para os anos de 2005 e 2006, respectivamente (Tabela 4.8).

Tabela 4.8. Eficiência de uso de água (EUA) da mamoneira precoce irrigada cv. BRS Energia para as 5 parcelas (P1 a P5) em 2005 e 2006 em Barbalha – CE.

ANO	Eficiência de uso de água (Kg.m^{-3})					MÉDIA
	P1	P2	P3	P4	P5	
2005	0,482	0,507	0,470	0,552	0,482	0,498
2006	0,520	0,465	0,432	0,470	0,482	0,474

A cultura foi adensada na configuração de 0,60 m x 0,37 m com frequência de irrigação semanal. Bezerra (2007), encontrou uma eficiência de uso de água de 0,554 Kg.m^{-3} , para um consumo de 514,5 mm e de 0,602 Kg.m^{-3} (411,6 mm), para o algodoeiro BRS – Marron em condições de irrigação. Segundo o autor, a maior eficiência no uso de água observada no tratamento que recebeu a menor lâmina de irrigação pode estar associada às características genéticas da cultivar, uma vez que se trata de material originário de genótipos do tipo "arbóreo" os quais, dentre suas características, têm o alto nível de resistência à seca (FREIRE et al., 2001).

4.2. EXPERIMENTO 2 - 2005

4.2.1. Rendimento de grãos e de óleo

De acordo com os resultados obtidos da análise de variância (Tabela 4.9), constatou-se efeito significativo das lâminas de água aplicadas sobre o rendimento de grãos ($p \leq 0,01$), rendimento de óleo ($p \leq 0,01$) e a altura de inserção do primeiro cacho (AIPC) ($p \leq 0,05$) pelo teste F. Realizou-se a análise de regressão e obteve-se as equações que melhor representam estas variáveis da mamoneira precoce irrigada e adensada, em função das lâminas de água aplicadas de 403,19; 512,74; 562,36; 627,59 e 679,94mm. A lâmina de água máxima de 679,94 foi aplicada em função do consumo hídrico obtido pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen (ETc_BERB) e as demais lâminas foram calculadas em função da lâmina máxima aplicada utilizando-se uma linha central de aspersores.

Os valores de quadrados médios da análise de regressão para rendimento de grãos e rendimento de óleo (R ÓLEO) encontram-se na (Tabela 4.10). De acordo com a equação de regressão o modelo que melhor ajustou os dados destas variáveis foi o polinomial linear ($p \leq 0,01$). Observa-se ainda não significância para a regressão polinomial quadrática e cúbica (Tabela 4.10).

Pelos resultados obtidos, verifica-se que o rendimento em grãos da cultura da mamona cultivar BRS Energia sob condições de adensamento de plantas aumentou linearmente com o aumento da quantidade de água aplicada (Figura 4.8). O rendimento máximo obtido para a cultura foi de 3.361,72 Kg.ha⁻¹ para uma lâmina aplicada de 679,94mm, enquanto que as menores produtividades obtidas foram de 2705,83; 2930,27; 3009,72 e 3178,88 Kg.ha⁻¹; respectivamente, para as quantidades de água aplicadas de 403,19; 512,74; 562,36; 627,59.

Azevedo et al. (1993) afirmam que, quanto maior a disponibilidade de água no solo, maior a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e maior a eficiência fotossintética das folhas. Wanjura & Upchurch (2002) afirmam que a manutenção do "status" ideal de água na planta, aliado ao controle de outras variáveis como população de plantas, fertilidade de solo, controle de pragas, doenças e ervas daninhas, são fatores essenciais para maximizar a produtividade das culturas.

Tabela 4.9. Resumos das análises das variâncias para rendimento de grãos, rendimento de óleo (R.ÓLEO), percentagem de óleo e altura de inserção do primeiro cacho (AIPC). Barbalha, CE, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios			
		Rendimento	R ÓLEO	% Óleo	AIPC
Tratamento	4	371076,37**	86810,46**	1,656 ^{ns}	176,349*
Bloco	5	59831,32 ^{ns}	18129,08	1,059 ^{ns}	23,136 ^{ns}
Resíduo	20	35696,87	8254,14	0,971	53,615
CV (%)		6,22	6,07	1,99	10,17

Lâmina	Médias observadas			
	(Kg.ha ⁻¹)	(Kg.ha ⁻¹)	(%)	(cm)
403,19	2705	1347	49,80	63,39
512,74	2930	1465	50,17	71,50
562,36	3009	1450	49,04	72,11
627,59	3178	1555	48,92	75,22
679,94	3361	1667	49,60	77,72

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

Tabela 4.10. Valores de quadrado médio da análise de regressão para as variáveis rendimento de grãos e rendimento de óleo (R ÓLEO). Barbalha - CE, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios	
		Rendimento	R ÓLEO
Lâminas	4	371076,370**	86810,46**
Linear	1	1458611,262**	317017,13**
Quadrática	1	19696,621 ^{ns}	14040,14 ^{ns}
Cúbica	1	5495,610 ^{ns}	10843 ^{ns}
Bloco	5	59831,325 ^{ns}	18129,08
Resíduo	20	35696,88	8254,14
CV (%)		6,22	6,07

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

De acordo com estes autores, o potencial de água nas folhas é extremamente sensível às mudanças do conteúdo de água no solo e o "status" de água na planta afeta diretamente a turgescência celular, que concorre para o crescimento dos órgãos vegetativos e reprodutivos das plantas. Severino (2007), salienta que em condições adversas, como extremos de temperatura, carência nutricional ou déficit hídrico, é comum os racemos apresentarem uma grande quantidade de flores masculinas e poucas femininas, o que provoca redução da produtividade. O número de flores femininas também é uma característica de cada cultivar.

De acordo com a Figura 4.9, percebe-se que o rendimento de óleo variou significativamente entre as lâminas de irrigação. Com a lâmina de 679,94mm, observou-se o maior rendimento de óleo 1667 kg ha⁻¹, enquanto que para a menor lâmina de água aplicada (403,19mm) o rendimento foi de 1347 kg ha⁻¹. Os valores obtidos para a maior lâmina são superiores ao mencionado por Koutroubas, et al. (2000), cuja estimativa é de 1352 kg ha⁻¹ de óleo.

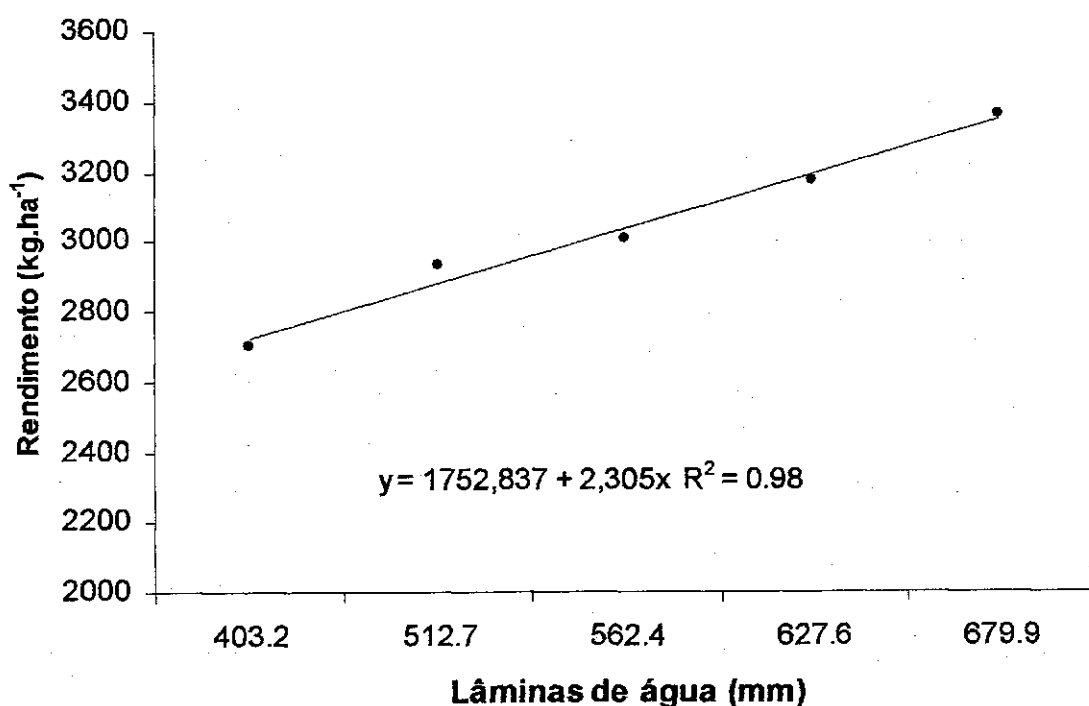


Figura 4.8. Rendimento em grãos da mamoneira precoce em função da aplicação de diferentes lâminas de água de irrigação. Barbalha – CE, 2005.

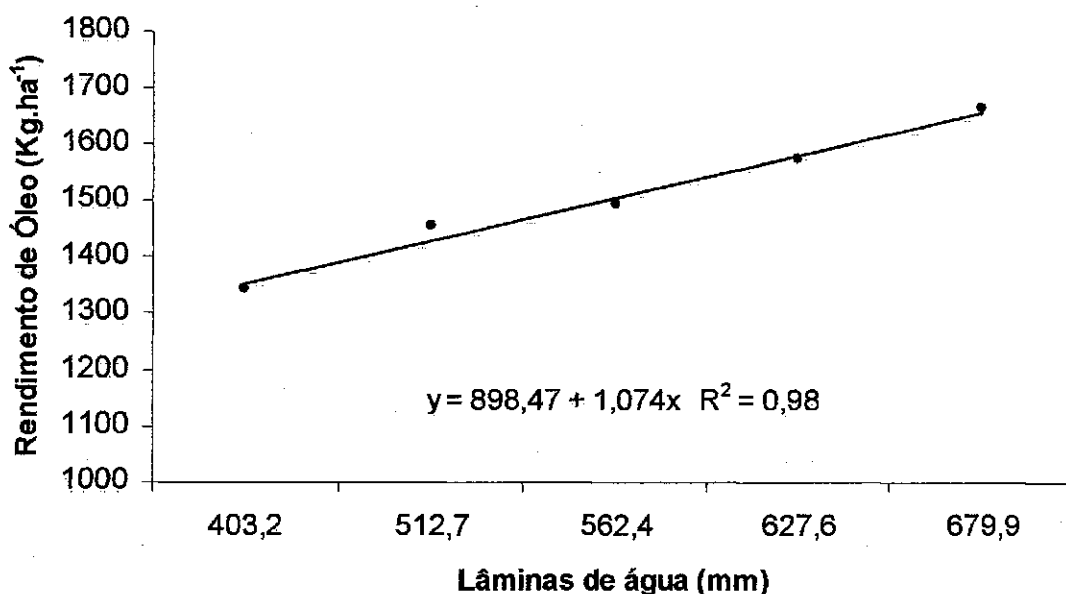


Figura 4.9. Rendimento de óleo da mamoneira precoce cv. BRS Energia em função da aplicação de diferentes lâminas de água de irrigação. Barbalha CE, 2005.

4.2.2. Percentagem de óleo das sementes

Não se observou efeito significativo para percentagem de óleo, denotando que esta variável não foi influenciada pelas diferentes quantidades de água aplicadas. No entanto, os teores de óleo das sementes em todos os tratamentos estão próximos e acima daqueles informados para a cultivar BRS Energia, que é de 48% (EMBRAPA, 2007a). De um modo geral, o teor de óleo das sementes de frutos provenientes do racemo primário variou de 48.92% para a lâmina aplicada de 627.59mm a 50.17% para a lâmina de 512.74mm. Freire et al., (2006) afirma que a maior parte das cultivares plantadas comercialmente no Brasil possuem teor de óleo variando entre 45% e 50%.

Souza (2007), estudando manejo cultural (incluindo suplementação hídrica), constatou que os manejos culturais, bem como a interação entre manejos e ordem de racemo não influenciaram significativamente o teor de óleo na semente. Contudo, para o autor, tal característica variou com a ordem do racemo na planta. Neste estudo, ainda, o maior teor de óleo foi verificado nas sementes dos racemos secundários e terciários, que foi superior, estatisticamente, ao teor dos racemos primários. Lins et al., (1976), verificaram que as sementes dos racemos primários possuem conteúdo de óleo inferior as

dos secundários e terciários. Távora et al., (1974) também verificaram que os racemos secundários e terciários apresentam maior teor de óleo do que aquelas provenientes de racemos primários. Koutroubas et. al., (2000) salientam que as condições ambientais interferem decisivamente no teor de óleo da semente, especialmente temperatura e disponibilidade de umidade. Ainda, segundo o autor, apesar disso os manejos utilizados com antecipação de plantio e uso de irrigação suplementar não interferiram significativamente no teor de óleo das sementes.

4.2.3. Altura de inserção do primeiro cacho (AIPC)

Pela análise de variância, verificou-se efeito significativo das lâminas de água aplicadas sobre a altura de inserção do primeiro cacho – AIPC ($p \leq 0,05$) Realizou-se a análise de regressão e obteve-se a equação que melhor representa a altura de inserção do primeiro cacho (AIPC). De acordo com a equação de regressão ($y=44,237 + 0,063x$, $R^2 = 0.99$), o modelo que melhor ajustou os dados da altura de inserção do primeiro cacho ($p \leq 0,05$) foi o polinomial linear (Figura 10). Para a menor lâmina irrigação (403,19mm), a AIPC observada foi de 63,39cm; enquanto que para a maior quantidade de água aplicada de 679,94mm foi de 77,72cm. Para SEVERINO (2006), a altura de inserção primeiro cacho é uma característica ligada à precocidade da planta, sendo considerada mais precoce a planta que lança o primeiro cacho em menor altura.

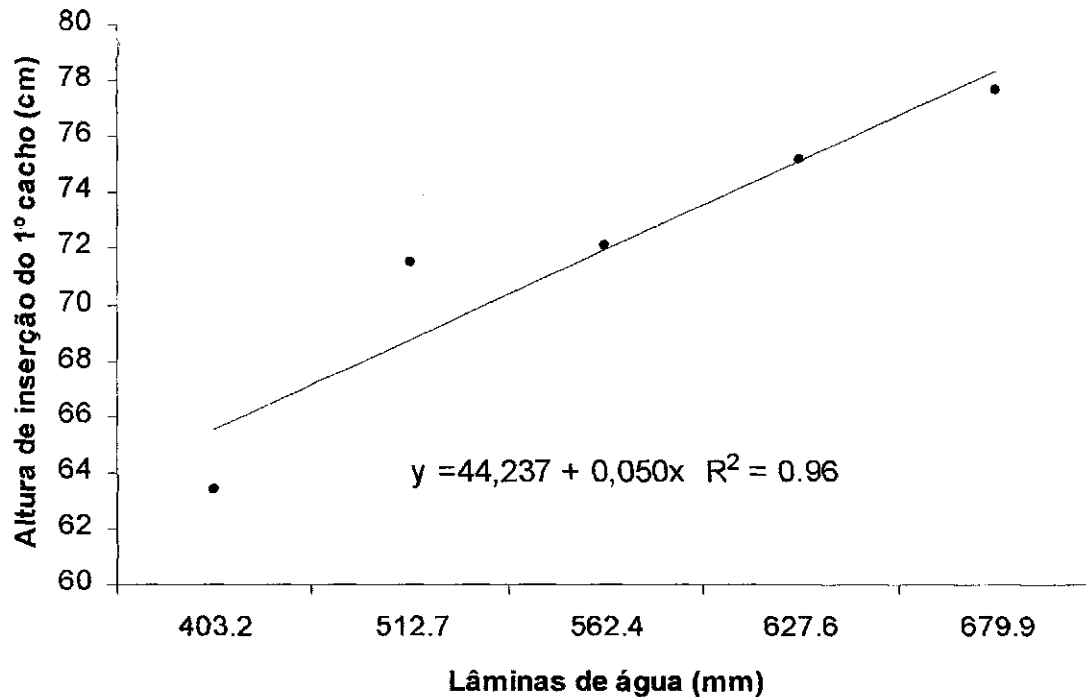


Figura 4.10. Altura de inserção do primeiro cacho da mamoneira precoce cv. BRS Energia em função de diferentes lâminas de água. Barbalha CE, 2005.

4.2.4. Altura de plantas e diâmetro caulinar

Pelos resumos das análises das variâncias (Tabela 4.11), verificou-se que os tratamentos adotados influenciaram significativamente o comportamento da altura de plantas. Realizou-se a análise de regressão e obteve-se a equação que melhor representa essa variável, em função das lâminas de água aplicadas de 403,19; 512,74; 562,36; 627,59 e 679,94mm. O polinomial linear também foi o modelo que melhor ajustou os dados de altura de plantas da mamona ($p \leq 0,01$) ($y = 64,772 + 0,109x$; $R^2 = 0,98$). Pelos resultados obtidos, verifica-se que a altura das plantas aumentou linearmente com o aumento da quantidade de água aplicada (Figura 4.11). A lâmina máxima de água aplicada (679,94mm) proporcionou a maior altura de plantas que foi de 139,67cm, enquanto que para a lâmina de 403,19mm, a altura média verificada foi de 108,50cm.

Para Rodrigues (2008), a mamoneira é sensível ao estresse hídrico diminuindo o crescimento em altura, notadamente quando irrigada com nível de 60% da evapotranspiração. 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% da água disponível. De forma geral, o resultado referente à altura de plantas acompanhou o resultado ocorrido para a variável altura de inserção do primeiro cacho, indicando que essas variáveis são correlacionadas, corroborando com os resultados obtidos por Malta (2008). As diferentes quantidades de água aplicadas não exerceram influência significativa no diâmetro caulinar das plantas ao nível de 5% de probabilidade, mesmo com uma variação considerável entre as lâminas de água de irrigação. O menor valor médio de diâmetro verificado foi de 21,61cm para a lâmina de 512,71mm, enquanto que para a lâmina de 679,94mm o diâmetro foi de 22,63cm. Provavelmente, uma maior competição intraespecífica das plantas de mamona no plantio adensado tenha ocorrido o que justificaria a não significância, mesmo com tratamentos submetidos a deficits hídricos.

Tabela 4.11. Resumos das análise de variância para altura de plantas, diâmetro caulinar e comprimento do primeiro cacho (CCACHO). Barbalha - CE, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios		
		Altura (cm)	Diâmetro (mm)	CCACHO (cm)
Tratamento	4	832,117**	1,201 ^{ns}	16,543 ^{ns}
Bloco	5	924,773**	8,452**	25,174 ^{ns}
Resíduo	20	203,557	2,143	46,285
CV (%)		11,36	6,61	16,99
Lâmina	Médias observadas			
	(cm)	(mm)	(cm)	
403,19	108,50	21,73	37,72	
512,74	122,83	21,64	39,61	
562,36	124,17	22,53	40,50	
627,59	133,00	22,13	40,05	
679,94	139,67	22,63	42,33	

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

Tabela 4.12. Valores de quadrado médio da análise de regressão para as variáveis altura de inserção do primeiro cacho (AIPC) e altura de plantas. Barbalha - CE, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios	
		AIPC	Altura
Lâminas	4	176,349*	832,117**
Linear	1	680,863**	3274,806**
Quadrática	1	11,511 ^{ns}	0,320 ^{ns}
Cúbica	1	9,233 ^{ns}	26,454 ^{ns}
Bloco	5	23,136 ^{ns}	924,773 ^{ns}
Resíduo	20	53,615	203,557
CV (%)		10,17	11,36

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

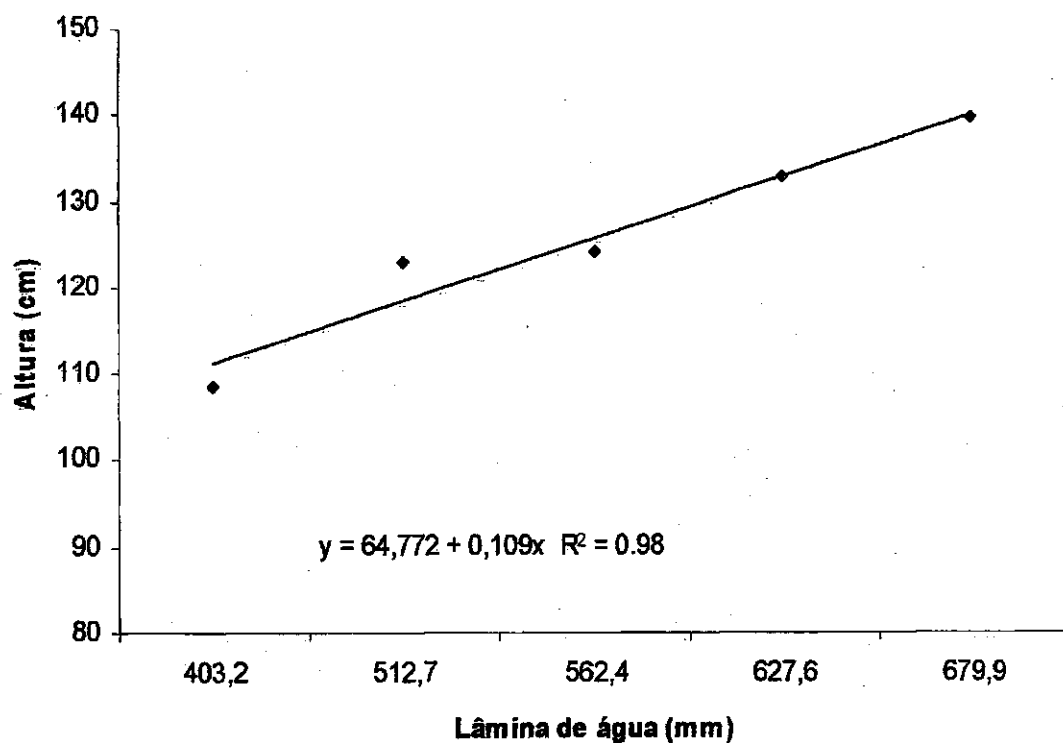


Figura 4.11. Altura de plantas de mamoneira precoce cv. BRS Energia em função de diferentes lâminas de água. Barbalha CE, 2005.

4.2.5. Comprimento do cacho (CCACHO)

O comprimento do cacho (CCACHO), não foi afetado significativamente pelas lâminas de água de irrigação ao nível de 5% de probabilidade. Os comprimentos médios de cachos verificados foram de 37.72, 39.61; 40.50; 40.05 e 42.33cm, para as quantidades de água aplicadas de 403,19; 512,74; 562,36; 627,59 e 679.94mm. Estes valores são maiores do que os informados por Carvalho (2005) que é de 33 cm. Vale salientar que os valores referentes a BRS Nordestina, são de cachos provenientes de cultivos em condições de sequeiro, onde não são informados a ordem dos racemos.

4.2.6. Número de cachos por planta e número de frutos por cacho

Pelos quadrados médios de tratamentos não verificou-se efeito significativo das diferentes quantidades de água aplicado à mamoneira sobre os componentes de produção que são o número médio de racemos por planta e o número de frutos no primeiro cacho e peso de 100 sementes ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. (Tabela 4.13). De um modo geral, o número médio de racemos variou de 3 a 3,5 por planta, com uma tendência crescente entre as lâminas intermediárias. A mesma tendência foi observada para o número de frutos por planta, os valores médios observados para esta variável foram de 47.00, 54.50, 53.00, 55.05 e 59.00 frutos, de acordo com as lâminas em ordem crescente de aplicação. Embora não tenha sido avaliado neste ensaio o número de frutos nos racemos de segunda ordem, possivelmente a combinação dos componentes de produção CPP e FPC determinaram os rendimentos de sementes e de óleo altamente significativos. Souza (2007), esclarece a importância do número de racemos por planta na produtividade da cultura. Koutroubas et al., (2000), enfatizam o efeito benéfico da irrigação sobre o número de racemos no rendimento

Tabela 4.13. Resumos das análises das variâncias para o número de cachos por planta (CPP), número de frutos por cacho (FPC) e peso de 100 sementes (100SEM), Barbalha, CE, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios		
		CPP	FPC	P100S
Tratamento	4	0,195 ^{ns}	113,918 ^{ns}	0,418 ^{ns}
Bloco	5	0,291 ^{ns}	41,990 ^{ns}	0,170 ^{ns}
Resíduo	20	0,235	97,649	0,644
CV (%)		6,95	18,40	2,29
Lâmina	Médias observadas			
	(Und)	(Und)	(g)	
403,19	3,00	47,00	34,70	
512,74	3,22	54,50	35,07	
562,36	3,33	53,00	34,80	
627,59	3,27	55,05	35,37	
679,94	3,50	59,00	34,87	

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

4.2.7. Peso de 100 sementes (100SEM)

Pelo resumo da análise da variância para os dados do peso de cem sementes, não foi constatado efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, revelando que as lâminas de água de irrigação não exerceram influência para este componente de produção da mamoneira. O peso médio de cem sementes para esse ensaio foram de 34,70; 35,07; 34,80; 35,37 e 34,87 para as lâminas de 403,9; 512,74; 562,36; 627,59 e 679,94; respectivamente.

4.2.8. Eficiência de uso de água

A partir da relação entre o rendimento da cultura e o volume de água aplicado, foi determinada a eficiência de uso de água da cultivar BRS Energia para as diferentes lâminas de água de irrigação aplicadas (Tabela 4.14). A cultura

foi adensada na configuração de 0,60 m x 0,37 m com frequência de irrigação semanal. A eficiência de uso de água observada para a cultura da mamona foi de 0,6711; 0,5715; 0,5352; 0,5065 e 0,4944 para lâminas de água de 403,19; 512,74; 562,36; 627,59 e 679,94; respectivamente. Bezerra (2007), encontrou uma eficiência de uso de água de 0,554 Kg.m⁻³, para um consumo de 514,5 mm e de 0,602 Kg.m⁻³ (411,6 mm), para o algodoeiro BRS – Marron em condições de irrigação. Como a mamoneira, a planta do algodoeiro também é tida como resistente à seca. Segundo o autor, a maior eficiência no uso de água observada no tratamento que recebeu a menor lâmina de irrigação pode estar associada às características genéticas da cultivar, uma vez que se trata de material originário de genótipos do tipo “arbóreo” os quais, dentre suas características, têm o alto nível de resistência à seca (FREIRE et al., 2001).

Tabela 4.14. Eficiência de uso de água da maomeneira BRS Energia em resposta a diferentes quantidades de água aplicadas.

Lâmina (mm)	403,19	512,74	562,36	627,59	679,94
Rend. (Kg.ha ⁻¹)	2705,8	2930,3	3009,7	3178,9	3361,7
EUA (Kg.m ⁻³)	0,6711	0,5715	0,5352	0,5065	0,4944

4.3. EXPERIMENTO 03 - 2006

4.3.1. Rendimento de mamona em grãos

De acordo com os resumos das análises das variâncias para os dados coletados, verificou-se que os tratamentos adotados influenciaram significativamente as variáveis rendimento ($p \leq 0,01$) e número de internódios até o primeiro o cacho (NINT) ($p \leq 0,01$) (Tabela 4.15). Pelos quadrados médios, ainda se observa que as diferentes quantidades de água aplicadas não influenciaram a percentagem de óleo das sementes ao nível de 5% de probabilidade. Como as diferentes quantidades de água ou lâminas referem-se a um fator quantitativo, realizou-se a análise de regressão e obteve-se a equação que melhor representa o rendimento e o número de internódios por planta em função das lâminas de água aplicadas de 541,1; 649,7; 801,8 e 934,8. Os valores de quadrados médios para a análise de regressão do rendimento e do número de internódios encontram-se na (Tabela 4.16). De acordo com a equação de regressão o modelo que melhor ajustou os dados para rendimento foi o polinomial quadrático (Figura 4.12) e para o número de internódios foi o polinomial linear ($p \leq 0,01$) (Figura 4.13).

Observa-se, pelos resultados obtidos, que o rendimento da mamoneira foi afetado pelas diferentes lâminas de água, sendo que a lâmina que proporcionou maior produtividade foi aquela aplicada em função do consumo da cultura pelo balanço energia com base na razão de Bowen (ETc_BERB), que foi a lâmina de referência. A produtividade máxima foi obtida para a lâmina de 649,7 foi de 3245,8 Kg.ha⁻¹, com rendimento superior em 17% (2773,3 Kg.ha⁻¹), 29% (2518,4 Kg.ha⁻¹) e 109% (1555 Kg.ha⁻¹), com relação às lâminas de 541,1; 801,8 e 934,8; respectivamente.

Gondim (2004), relata que o genótipo CSRN-142, que originou a cultivar BRS Energia, atingiu bom potencial produtivo e adaptação à região do Cariri cearense, com produtividade máxima 3494 Kg.ha⁻¹ em cultivo irrigado, plantado na configuração de 0,60m x 0,37m, com frequência de irrigação semanal. Souza (2007), estudando o manejo da cultura com cultivares de porte médio e ciclo tardio, concluiu, que o uso da irrigação a partir de julho quando a estação chuvosa havia acabado, e a cultura já se encontrava em plena produção, não propiciou ganhos significativos de produtividade, apesar de as plantas terem consumido

uma maior quantidade de água. Tal fato, evidencia que a suplementação hídrica nos estádios mais avançados da cultura não é uma prática vantajosa, e que possa garantir ganhos significativos de produtividade. Desse modo, é provável que a mamoneira utilize de forma eficiente, o suprimento hídrico disponível no início do ciclo de vida, e com isto consiga assegurar boas produtividades, mesmo após o término da estação chuvosa ou com a suspensão da irrigação. O autor ainda relata produtividades de 4.252 kg.ha⁻¹, com suplementação hídrica via água de irrigação por gotejamento para a cultivar "BRS 149 Nordestina" que, segundo Beltrão (2001) pode produzir entre 3.500 e 4.500 kg.ha⁻¹. Távora (1982), enfatiza que a disponibilidade hídrica independente do uso da irrigação pode ser mais importante no início do estabelecimento da cultura do que após este período.

Tabela 4.15. Resumos das análises das variâncias para rendimento, percentagem de óleo e número e intermódios. Barbalha, CE, 2006.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios		
		Rendimento	% Óleo	NINT
Tratamentos	3	3044490,42**	2,559 ^{ns}	7,68**
Bloco	5	34375,97 ^{ns}	1,584 ^{ns}	1,61 ^{ns}
Resíduo	15	42694,12	2,892	0,94
CV (%)		8,19	2,89	7,85

Lâmina	Médias observadas		
	(Kg.ha ⁻¹)	(%)	(Und)
541.1	2773.3	49,24	11,00
649.7	3245.8	50,68	11,83
801.8	2518.4	50,44	12,83
934.8	1555.0	50,47	13,58

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

Tabela 4.16. Valores de quadrado médio da análise de regressão para as variáveis rendimento e número de internódios. Barbalha - CE, 2006.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Rendimento	NINT
Lâminas	3	3044490,424**	7,68**
Linear	1	6211486,450**	22,94**
Quadrática	1	2633706,380**	0,088 ^{ns}
Cúbica	1	288278,442*	0,0003 ^{ns}
Bloco	5	34375,979 ^{ns}	1,613
Resíduo	15	42694,12	0,935

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

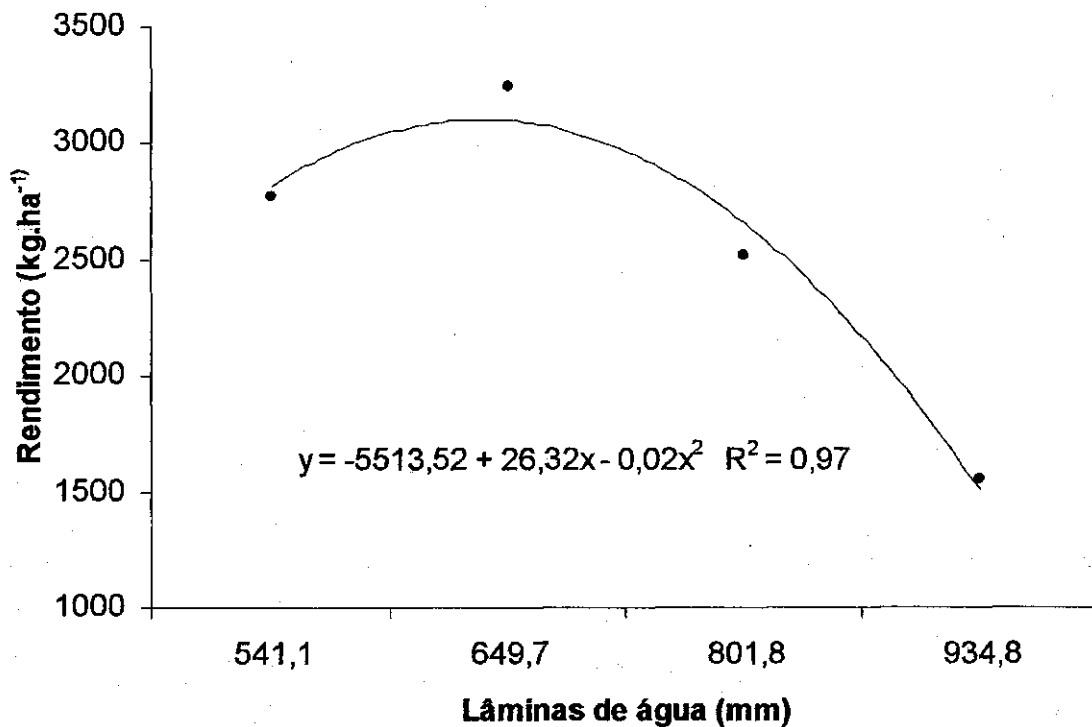


Figura 4.12. Rendimento da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.

4.3.2. Percentagem de óleo das sementes.

Não se observou efeito significativo para percentagem de óleo, denotando que essas variáveis não foram influenciadas pelas diferentes quantidades de água aplicadas. No entanto, os teores de óleo das sementes em todos os tratamentos estão próximos e acima daqueles informados para a cultivar BRS Energia que é de 48%. (EMBRAPA, 2007). De um modo geral, o teor de óleo das sementes de frutos provenientes do racemo primário variou de 49,24% para a lâmina aplicada de 541,1mm a 50,68% para a lâmina de 649,7mm. Freire et al., (2006) afirmam que a maior parte das cultivares plantadas comercialmente no Brasil possuem teor de óleo variando entre 45% e 50%.

Lins et al., (1976) verificaram que as sementes dos racemos primários possuem conteúdo de óleo inferior as dos secundários e terciários. Távora et al., (1974) também verificaram que os racemos secundários e terciários apresentam maior teor de óleo do que aquelas provenientes de racemos primários. Koutroubas et al., (2000), salientam que as condições ambientais interferem decisivamente no teor de óleo da semente, especialmente temperatura e disponibilidade de umidade. Apesar disso os manejos utilizados com antecipação de plantio e uso de irrigação suplementar não interferiram significativamente no teor de óleo das sementes.

4.3.3. Número de internódios

Pelos resultados obtidos, verifica-se que o número médio de internódios da cultura da mamona cultivar BRS Energia sob condições de adensamento de plantas aumentou linearmente com o aumento da quantidade de água aplicada (Figura 4.13.).

Assim, foi observado um número médio de 13,58 internódios para a maior lâmina de 934,8, enquanto que os números médios de 11,00; 11,83; e 12,83; ocorreram quando da utilização das lâminas de 541,1; 649,7; 801,8mm, respectivamente. As condições ambientais iniciais de elevada disponibilidade de umidade para as plantas na maior lâmina de água, possibilitou a emissão de um maior número de internódios no início do ciclo. Souza (2007), afirma que a altura de plantas, o número de internódios e a precocidade mantêm estreita relação entre si, e o número de internódios é um bom indicativo da precocidade da

cultura. Kittock e Williams (1968) afirmaram que a data de plantio e as condições ambientais afetaram significativamente o número de internódios da mamoneira.

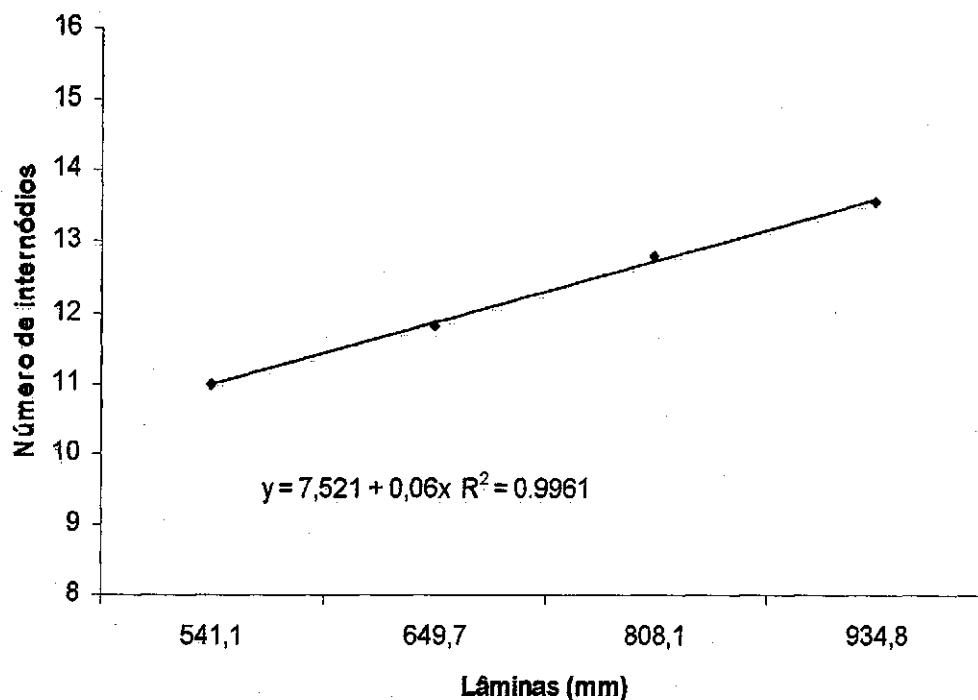


Figura 4.13. Número de internódios até primeiro cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.

4.3.4. Altura de inserção do primeiro cacho (AIPC)

Constatou-se efeito significativo para a variável altura de inserção do primeiro cacho (AIPC) ($p \leq 0,01$), comprimento do primeiro cacho (CCACHO1) ($p \leq 0,05$) e comprimento do segundo cacho (CCACHO2) ($p \leq 0,01$). Pelos resumos das análises das variâncias (Tabela 4.17), verificou-se que os tratamentos adotados influenciaram significativamente o comportamento das variáveis. Realizou-se a análise de regressão e obteve-se a equação que melhor representa a altura de inserção do primeiro cacho (AIPC), o comprimento do primeiro cacho (CCACHO1) e o comprimento do segundo cacho (CCACHO2) da mamoneira precoce irrigada cultivar BRS Energia, em função das lâminas de água aplicadas de 541,1; 649,7; 801,8 e 934,8mm (Tabela 4.18).

Tabela 4.17. Resumos das análises das variâncias para altura de inserção do primeiro cacho (AIPC), comprimento do primeiro cacho (CCACHO1) e comprimento do segundo cacho (CCACHO2). Barbalha – CE, 2006.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios		
		AIPC	CCACHO1	CCACHO2
Tratamentos	3	188,728**	66,135*	68,983**
Bloco	5	59,113 ^{ns}	16,604 ^{ns}	4,645 ^{ns}
Resíduo	15	21,972	11,271	7,871
CV (%)		6,06	9,25	14,87
Lâmina		Médias observadas		
		(cm)	(cm)	(cm)
541.1		69,25	36,13	21,04
649.7		78,25	40,52	22,39
801.8		80,42	36,15	16,83
934.8		81,66	32,40	15,23

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

Tabela 4.18. Valores de quadrados médios da análise de regressão para altura de inserção do primeiro cacho (AIPC), comprimento do primeiro cacho (CCACHO1) e comprimento do segundo cacho (CCACHO2). Barbalha – CE, 2006.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios		
		AIPC	CCACHO1	CCACHO2
Lâminas	3	188,728**	66,135 **	68,983 **
Linear		440,640**	83,857 **	168,757 **
Quadrática	1	100,517*	85,109 **	7,173 *
Cúbica	1	25,028 ^{ns}	24,434 ^{ns}	31,019 ^{ns}
Bloco	5	59,113 ^{ns}	16,604 ^{ns}	4,645 ^{ns}
Resíduo	15	21,97	11,27	7,87

(**) significativo a 1%, (*) significativo a 5%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

O modelo que melhor ajustou os dados para AIPC foi o polinomial quadrático (Figura 4.14). Os valores médios da altura de inserção primeiro cacho ou racemo primário, que foram de 69,25; 78,25; 80,42 e 81,66cm, respectivamente, para as lâminas de 541,1; 649,7; 801,8 e 934,8; podem ser visualizados na Tabela 4.17. Estes resultados encontrados para uma maior altura corroboram com aqueles encontrados por Souza (2007) quando estudou espaçamento e suplementação hídrica na cultura. Koutroubas et. al., (2000)

relatam que a altura de inserção do racemo primário teve incremento com o uso da irrigação e houve um aumento contínuo na medida em que se elevou a quantidade de água fornecida para a cultura. Kittock e Williams (1968) também verificaram que a altura do primeiro racemo reduziu com o atraso do plantio, especialmente, em condições de sequeiro. Hemerly (1981) ressalta que em condições de elevada disponibilidade hídrica a mamoneira privilegia o crescimento vegetativo, podendo ocorrer atraso na floração e frutificação. Estes resultados também estão condizentes com informações de Koutroubas et al., (2000) que obtiveram maior altura de inserção do racemo primário em condições de elevado suprimento hídrico em comparação com o cultivo de sequeiro.

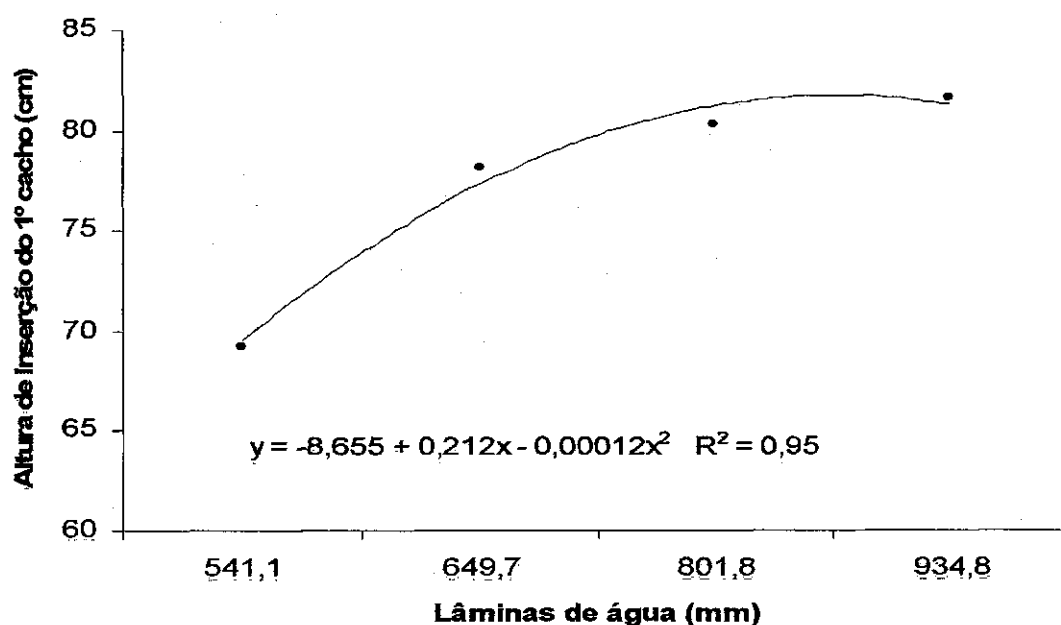


Figura 4.14. Altura de inserção do primeiro cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes lâminas de água. Barbalha CE, 2006.

4.3.5. Comprimento do primeiro (CCACHO1) e segundo cacho (CCACHO2).

De acordo com os resumos das análises das variâncias para os dados coletados, verificou-se que os tratamentos adotados influenciaram significativamente as variáveis comprimento do primeiro cacho - CCACHO1 ($p \leq 0,01$), e comprimento do segundo cacho - CCACHO2 ($p \leq 0,01$) (Tabela 4.17).

Como as diferentes quantidades de água ou lâminas referem-se a um fator quantitativo, realizou-se a análise de regressão e obteve-se a equação que melhor representa estas variáveis. Os valores de quadrados médios para a análise de regressão encontram-se na (Tabela 4.18). De acordo com a equação de regressão o modelo que melhor ajustou os dados para comprimento do primeiro cacho - CCACHO1 ($p \leq 0,01$), e comprimento do segundo cacho - CCACHO2 ($p \leq 0,05$) foi o polinomial quadrático (Figura 4.15 e 4.16). Os maiores comprimentos para o primeiro e segundo cachos foram de 40,52 e 22,39cm, respectivamente, encontrados para a lâmina padrão de 649,7mm.

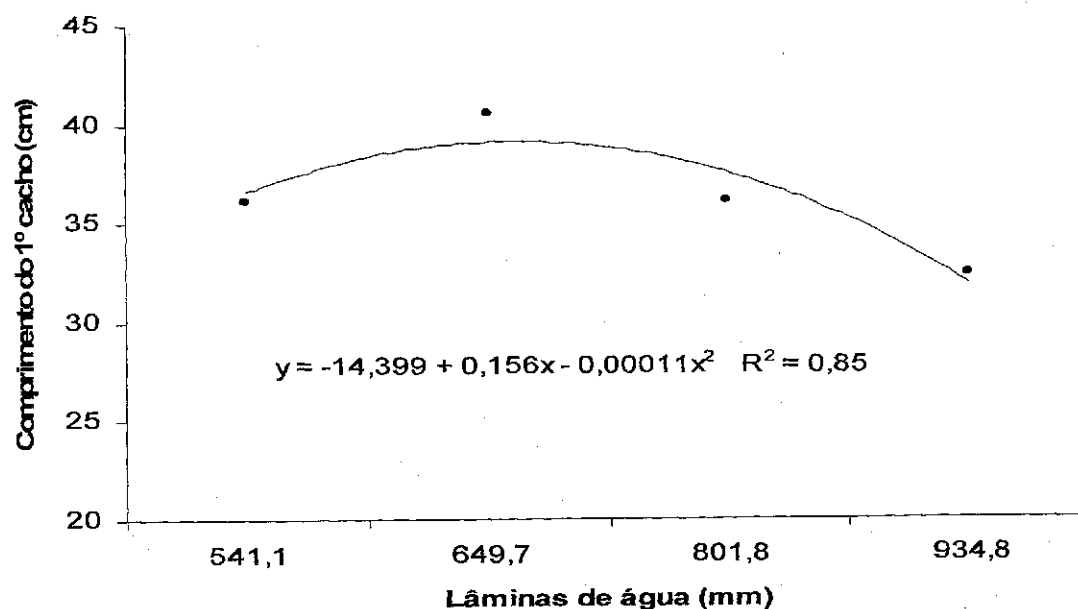


Figura 4.15. Comprimento do primeiro cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha – CE, 2006.

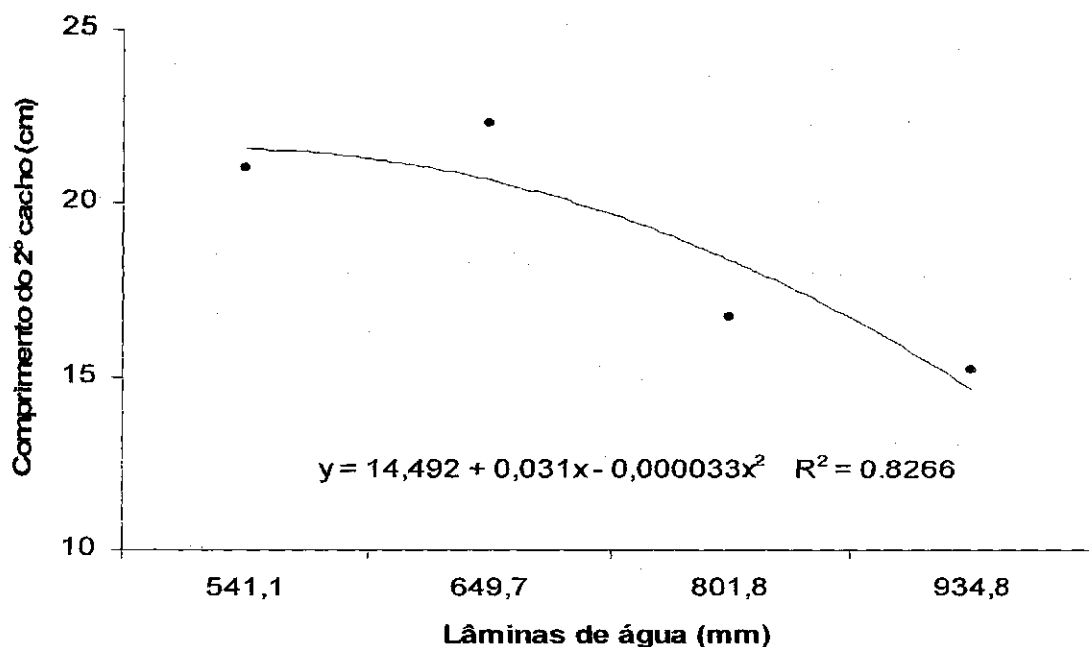


Figura 16. Comprimento do segundo cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.

4.3.6. Número de cachos por planta (CPP) e peso de 100 sementes

Pelos resumos das análises das variâncias para os dados coletados, verificou-se que os tratamentos adotados influenciaram significativamente as variáveis número de cachos por planta ($p \leq 0,01$), número de frutos no primeiro cacho (NFC1) ($p \leq 0,01$) e número de frutos no segundo cacho (NFC2) (Tabela 4.19). Pelos quadrados médios, ainda se observa que as diferentes quantidades de água aplicadas não influenciaram peso de 100 sementes ao nível de 5% de probabilidade. Os valores de quadrados médios para a análise de regressão encontram-se na (Tabela 4.20). Como as diferentes quantidades de água ou lâminas referem-se a um tratamento quantitativo, realizou-se a análise de regressão e obteve-se a equação que melhor representa o número de cachos por planta (Figura 4.17), o número de frutos no primeiro cacho (NFC1) (Figura 4.18) e o número de frutos no segundo cacho (NFC2) (Figura 4.19) da mamoneira precoce irrigada cultivar BRS Energia, em função das lâminas de água aplicadas de 541,1; 649,7; 801,8 e 934,8. O maior número de cachos encontrado foi de 3,42 (649,7); o maior número médio de frutos encontrados no primeiro cacho foi de

55,25 e de 19,75 no segundo cacho. O peso de 100 sementes variou de 34,33 a 36,00g (Tabela 4.19).

Tabela 4.19. Resumos das análises das variâncias para número de cachos por planta (CPP), número de frutos no primeiro cacho (NFC1) e número de frutos no segundo cacho (NFC2) e peso de 100 sementes. Barbalha - 2006.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios			
		CPP	NFC1	NFC2	P100S
Tratamentos	3	3,864**	665,715**	125,902**	3,687 ^{ns}
Bloco	5	0,656 ^{ns}	12,847 ^{ns}	1,275 ^{ns}	0,871 ^{ns}
Resíduo	15	0,334	15,680	7,669	2,129
CV (%)		21,41	9,34	18,62	4,17
Lâmina		Médias observadas			
		(Und)	(Und)	(Und)	(g)
541.1		3,00	43,00	16,17	35,20
649.7		3,42	55,25	19,75	34,40
801.8		2,83	41,92	14,83	34,33
934.8		1,55	29,47	8,75	36,00

(**) significativo a 1%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

Tabela 4.20. Valores de quadrado médio da análise de regressão para número de cachos por planta, número de frutos no primeiro cacho (NFC1) e número de frutos no segundo cacho (NFC2) e peso de 100 sementes. Barbalha – CE, 2006.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios		
		CPP	NFC1	NFC2
Lâminas	3	3,864**	665,715 **	125,9
Linear	1	7,735**	985,333 **	240,958 **
Quadrática	1	3,824**	780,248 **	119,62 **
Cúbica	1	0,035 ^{ns}	231,564 **	17,132 ^{ns}
Bloco	5	0,656 ^{ns}	12,847 ns	1,28
Resíduo	15	0,34	15,68	18,62

(**) significativo a 1%, (^{ns}) não significativo, pelo teste F.

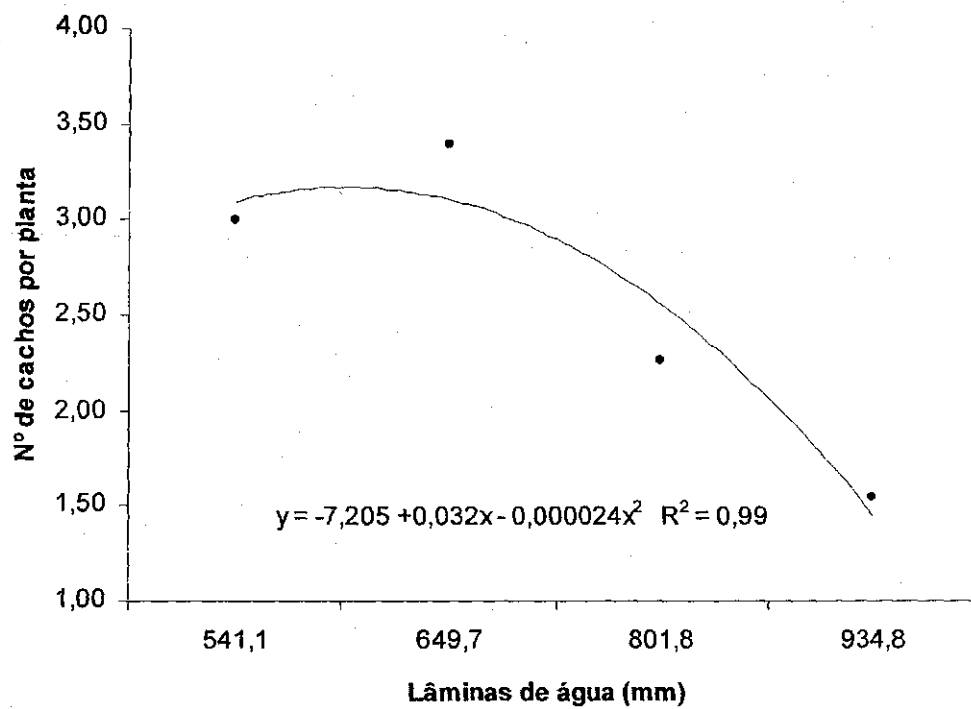


Figura 4.17. Número de cachos por planta da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.

4.3.7. Número de frutos no primeiro e segundo cachos

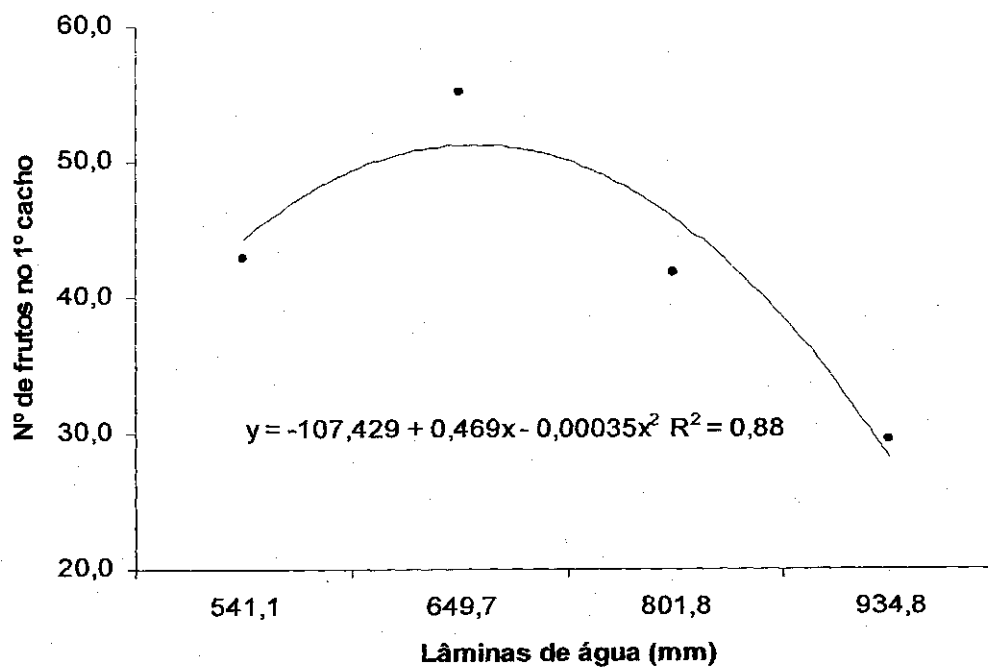


Figura 4.18. Número de frutos no primeiro cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes lâminas. Barbalha CE, 2006.

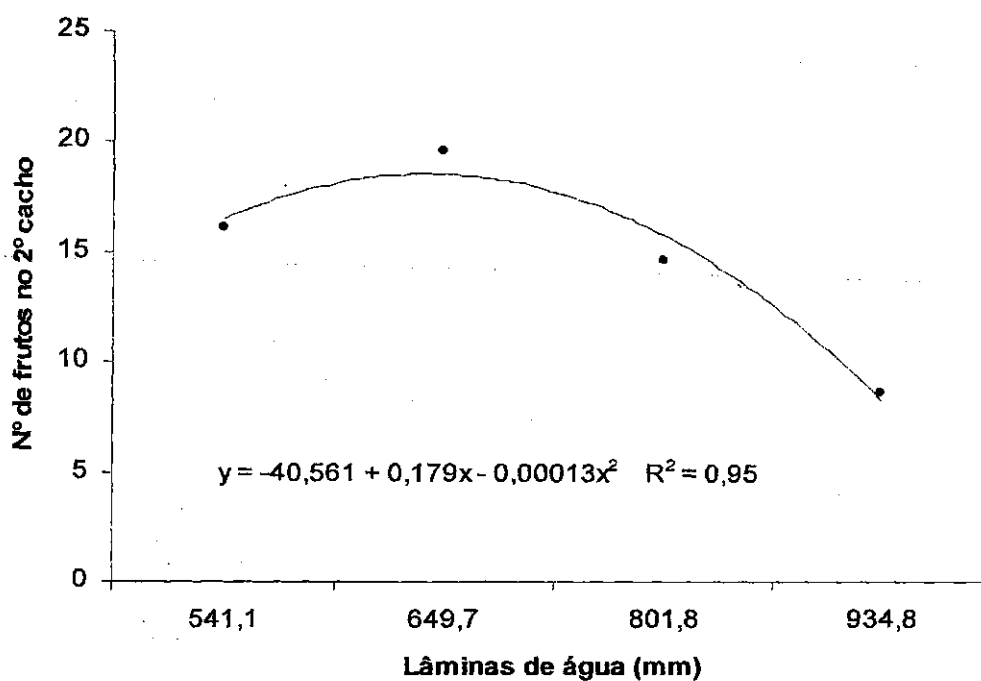


Figura 4.19. Número de frutos no segundo cacho da mamoneira precoce aos 125 DAE, em função da aplicação de diferentes quantidades de água. Barbalha CE, 2006.

4.3.8. Crescimento e desenvolvimento da mamoneira, cultivar BRS Energia

a) Altura de plantas

A análise de crescimento é um método descritivo das condições morfofisiológicas e estuda a dinâmica da produção fotossintética (MAGALHÃES, 1979), podendo ser utilizada para avaliar a eficiência fisiológica da cultura, uma vez que 90% da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo de seu crescimento, resultam da atividade fotossintética (BENINCASA, 1988).

As plantas submetidas a deficit hídrico tiveram um crescimento em altura menor no final do ciclo em relação as plantas dos demais tratamentos (Figura 4.20), enquanto a lâmina padrão resultou em plantas com maiores alturas médias (Tabela 4.21). Observar que a lâmina máxima promoveu um crescimento superior às demais até os 60 dias depois houve uma tendência e estabilizar o crescimento (Figura 4.20). Tabela 4.22, encontram-se as equações de regressão ajustada e coeficientes de determinação.

Tabela 4.21. Altura média de plantas (cm) da mamoneira, cultivar BRS Energia, submetida a diferentes lâminas de irrigação

Lâminas (mm)	Época de amostragem (DAE)				
	20	40	60	80	100
541,1	24,69	63,58	93,50	103,75	111,50
649,7	25,35	73,92	112,58	125,67	131,87
801,8	24,98	75,42	115,21	117,67	121,42
934,8	24,72	83,50	116,83	120,29	119,04

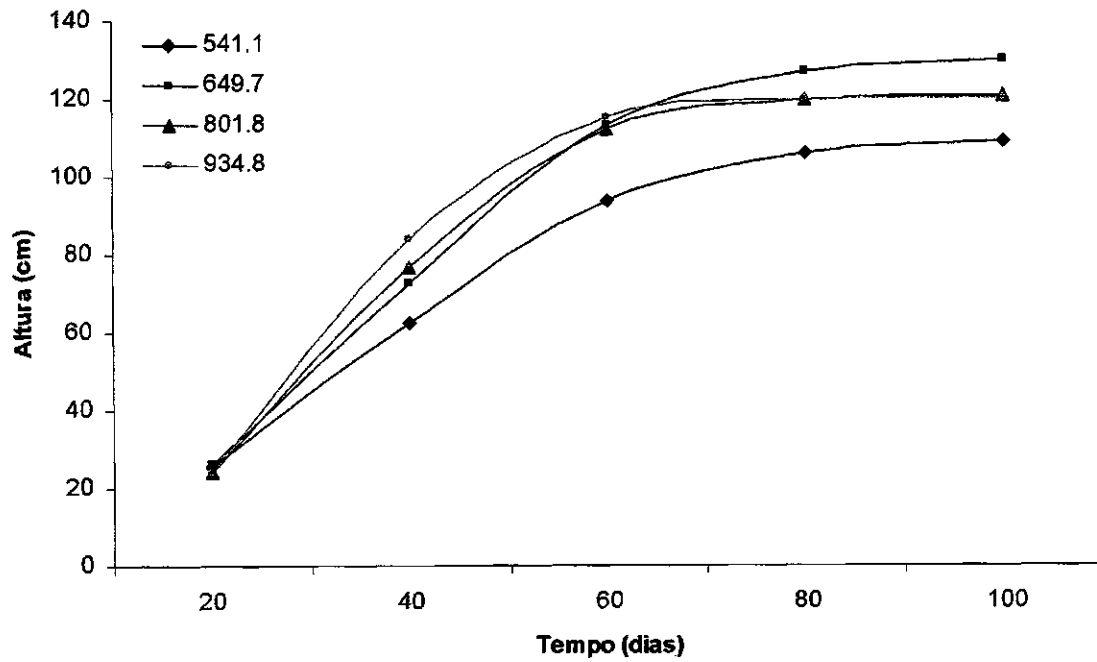


Figura 4.20. Curvas ajustadas de altura média de plantas, da mamoneira cultivar BRS Energia, submetida a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2006.

Tabela 4.22. Equações de regressão ajustada e coeficientes de determinação da altura média de plantas da mamoneira submetida a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2006.

Lâmina Aplicada (mm)	Equação de Regressão	Coefficiente de Determinação (R ²)
T ₁ = 541,1	$Y = \frac{111,2}{1 + EXP^{(2,6017 - 0,0755.X)}}$	0,99
T ₂ = 649,7	$Y = \frac{131,6}{1 + EXP^{(2,4334 - 0,0892.X)}}$	0,99
T ₃ = 801,8	$Y = \frac{121,4}{1 + EXP^{(3,0279 - 0,0789.X)}}$	0,99
T ₃ = 934,8	$Y = \frac{120,6}{1 + EXP^{(3,0279 - 0,0789.X)}}$	0,99

b) Diâmetro caulinar

Os valores médios de diâmetro caulinar, obtidos a cada 20 dias, para os tratamentos estudados, podem ser observados na Tabela 4.23. Pela figura 4.21, podemos observar que em todos os tratamentos houve uma tendência de estabilização no diâmetro do caule das plantas, provavelmente por estas estarem submetidas a uma competição intraespecífica maior devido ao adensamento. Tabela 4.24, encontram-se as equações de regressão ajustada e coeficientes de determinação.

Tabela 4.23. Diâmetro caulinar médio (cm) da mamoneira, cultivar BRS Energia, submetida a diferentes lâminas de irrigação.

Lâminas (mm)	Época de amostragem (DAE)				
	20	40	60	80	100
541,1	9,91	16,75	18,42	18,62	19,81
649,7	9,04	17,07	18,59	18,66	19,67
801,8	9,81	18,48	20,52	20,34	20,82
934,8	9,79	19,31	20,11	20,27	20,48

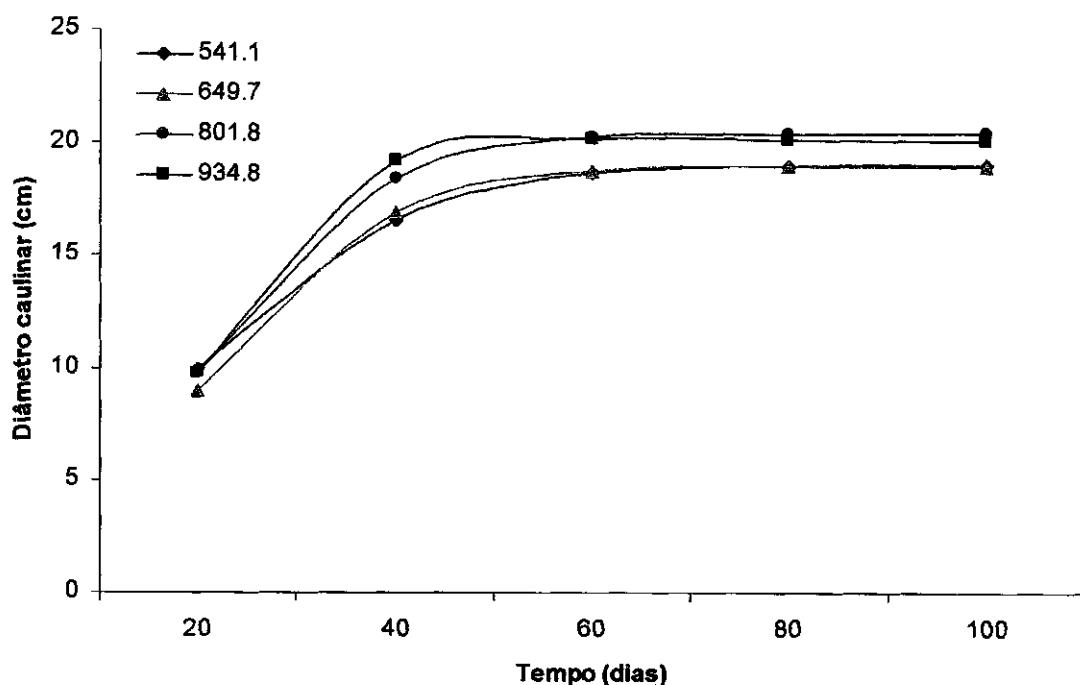


Figura 4.21. Curvas ajustadas do diâmetro caulinar de plantas, da mamoneira cultivar BRS Energia, submetida a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2006.

Tabela 4.24. Equações de regressão ajustada e coeficientes de determinação do diâmetro de caulinar de plantas da mamoneira submetida a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2006.

Lâmina Aplicada (mm)	Equação de Regressão	Coefficiente de Determinação (R ²)
T ₁ = 541,1	$Y = \frac{19,2}{1 + EXP^{(1,7032 - 0,0890 x)}}$	0,99
T ₂ = 649,7	$Y = \frac{19,1}{1 + EXP^{(2,2932 - 0,0892 X)}}$	0,99
T ₃ = 801,8	$Y = \frac{20,6}{1 + EXP^{(3,0279 - 0,0789 X)}}$	0,99
T ₃ = 934,8	$Y = \frac{20,3}{1 + EXP^{(3,0279 - 0,0789 X)}}$	0,99

4.4. ANÁLISE ECONÔMICA

Para obtenção da análise física e econômica da produção, foram coletadas as informações de quantidade e custo dos insumos, custo da mão-de-obra e de serviços de preparo do solo, conforme a metodologia adaptada de QUEIROZ et al. (1996). Os resultados dos custos obtidos no experimento são apresentados na Tabela 4.25., e as informações foram obtidas do experimento de 2005.

Tabela 4.25. Custo por hectare e variação percentual do custo de produção da cultivar de mamoneira precoce BRS Energia submetido a diferentes lâminas de água de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Lâmina de Água (mm)	Custos de produção (R\$)			Total (R\$.ha ⁻¹)
	Preparo do Solo	Insumos	Mão-de-obra	
T ₁ = 403,19	195,00	741,05	900,00	1836,05
T ₂ = 512,74	195,00	786,88	930,00	1911,08
T ₃ = 562,36	195,00	807,62	948,00	1950,02
T ₄ = 627,59	195,00	834,95	966,00	1995,95
T ₅ = 679,94	195,00	856,92	978,00	2029,92
Variação Percentual				
T ₁ = 403,19	10,62	40,36	49,02	100,00
T ₂ = 512,74	10,20	41,16	48,64	100,00
T ₃ = 562,36	10,00	41,40	48,60	100,00
T ₄ = 627,59	9,77	41,83	48,40	100,00
T ₅ = 679,94	9,60	42,21	48,20	100,00

O custo dos insumos foi crescente em função da lâmina de água e isto ocorreu em virtude da maior aplicação de água ter acarretado um maior tempo de funcionamento da eletrobomba, conseqüentemente, um maior consumo de energia. Verificou-se uma variação percentual crescente, tendo o tratamento que recebeu a maior lâmina de irrigação (679,94 mm) apresentado o maior percentual de custo dos insumos (42,21%) em relação aos outros quatro tratamentos. Avaliando-se a participação percentual do custo mão-de-obra nos cinco tratamentos, observa-se que, proporcionalmente, o custo da mão-de-obra foi o que apresentou a maior concentração de custos em todos os tratamentos e o incremento ocorreu também em função do aumento da lâmina de irrigação. Os

resultados econômicos dos diferentes sistemas de produção podem ser observados na Tabela 4.26.

Tabela 4.26. Dados relativos aos custos independentes do tratamento (CIT_i), custos dependentes do tratamento (CDT_i), custo total (CT_i), produção obtida (PD_i), renda bruta (RB_i) e renda líquida (RL_i), relação benefício/custo (RBC), e taxa marginal de retorno (TMR) da mamoneira, cultivar BRS Energia, submetido a diferentes lâminas de irrigação. Barbalha, CE, 2005.

Variáveis	Lâmina de água aplicada (mm)				
	403,19	512,74	562,36	627,59	679,94
CIT_i – Custos independente do tratamento ($R\$.ha^{-1}$)	1203,61	1203,61	1203,61	1203,61	1203,61
CDT_i – Custos dependente do tratamento ($R\$.ha^{-1}$)	632,43	708,27	747,01	792,33	826,30
CT_i – Custos totais ($R\$.ha^{-1}$)	1836,05	1911,88	1950,62	1995,95	2029,91
PD_i – Produção ($kg.ha^{-1}$)	2705,00	2930,00	3009,00	3178,00	3361,00
RB_i – Renda Bruta ($R\$.ha^{-1}$)	2028,75	2197,50	2256,75	2383,50	2520,75
RL_i – Renda Líquida ($R\$.ha^{-1}$)	192,70	285,62	306,13	387,55	490,83
Relação Benefício/Custo (RBC)	1,10	1,15	1,16	1,19	1,24
Taxa Marginal de Retorno (TMR)		1,23	0,53	1,80	3,04

Para a obtenção dos dados da Tabela 4.26, foram utilizados preços de Dezembro/2007. Como pode ser visualizado nesta tabela, para todas as variáveis estudadas, obteve-se um incremento na resposta econômica à medida que aplicou uma maior lâmina de irrigação. O custo de produção variou de R\$ 1836,05 por hectare, para a aplicação da lâmina de 403,19mm a R\$ 2029,91 por hectare para a aplicação da lâmina de 679,94mm. Seguindo a mesma tendência, a produção foi maior à medida que se aumentou a lâmina de irrigação, com uma produtividade de 3361,00 $kg.ha^{-1}$, para o tratamento com a maior lâmina de irrigação. Com o preço da mamona em baga estabelecido em R\$ 0,75 por Kilograma, obteve-se uma renda bruta de R\$ 2028,75; R\$ 2197,50; R\$ 2256,75; R\$ 2383,50 e 2520,75 para os tratamentos T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5 , respectivamente.

Observando-se os resultados obtidos para todas as variáveis estudadas, com exceção do custo independente do tratamento que foi idêntico para todos os tratamentos, obteve-se um incremento linear em função da lâmina de água aplicada, o que demonstra que os sistemas de produção apresentaram uma resposta econômica satisfatória.

Visando estabelecer a eficiência econômica dos tratamentos testados, utilizou-se a relação benefício/custo, e a taxa marginal de retorno. Vários autores (BARBOSA FILHO & SILVA, 1994; ALENCAR et al., 2004) têm utilizado a relação benefício/custo para demonstrar a eficiência econômica em trabalhos de pesquisa agrícola. Para a relação benefício/custo, que se traduz pela razão entre os benefícios auferidos pelos tratamentos testados em função dos custos totais observados em cada sistema de produção estudado (Tabela 4.26) obtiveram-se como resultados 1,10; 1,15; 1,16; 1,19 e 1,24; para os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Pode-se observar, portanto, que, do ponto de vista econômico, o incremento na lâmina de água aplicada acarretou uma maior resposta econômica da mamoneira, cultivar BRS Energia. Observa-se, ainda que, para cada real aplicado, houve um lucro líquido de R\$ 0,10 para a lâmina de 403,19mm; R\$ 0,15 para a lâmina de 512,74mm; 0,16 para a lâmina de 562,36mm; 0,19 para a lâmina de 627,59mm e 0,24 para a lâmina de 679,94mm, o que evidencia um melhor retorno econômico para o tratamento em que se utilizou a maior lâmina de irrigação.

De modo análogo à relação benefício/custo, a taxa marginal de retorno que consiste na relação entre a diferença de renda líquida auferida entre dois tratamentos pela diferença observada entre os custos dependentes dos dois tratamentos, tem sido utilizada para avaliar a resposta econômica de culturas (OLIVEIRA & CAMPOS, 1997; CIMMYT, 2007). A taxa marginal de retorno, obtida neste trabalho foi de 1,23 entre o tratamento 2, que recebeu uma lâmina de irrigação de 512,74mm, em relação ao tratamento 1, que recebeu uma lâmina de 403,19mm (Tabela 4.26), indicando que, para cada real investido no custo de água mais custo de colheita, houve uma resposta positiva de R\$ 0,23, mostrando que há vantagem econômica em aplicar a lâmina do tratamento 2, quando comparada com o tratamento 1. Quando se comparou a taxa marginal de retorno do tratamento 5 (679,94mm) em relação ao tratamento 4 (627,59mm), obteve-se um valor de 3,04, do que se pode inferir que, para cada real investido no custo de

água mais o custo de colheita, houve um retorno econômico de R\$ 3,04, caracterizando, assim, a maior eficiência econômica desta lâmina.

5. CONCLUSÕES

1. A reposição da água consumida estimada pelo método do balanço de energia com base na razão de Bowen suprem adequadamente as necessidades hídricas da mamoneira quando cultivada sob condições de adensamento.
2. Para cultivares de ciclo curto, lâminas de água aplicada em excesso promove uma maior altura de inserção do primeiro cacho, mas não resulta em maior altura de plantas aos 100 dias, além de resultar em baixos rendimentos, o que comprova que o excesso hídrico é prejudicial à cultura nas fases finais do ciclo.
3. As lâminas de água que foram aplicadas com deficit ou com excesso não influenciam nas percentagens de óleo das sementes ou no componente da produção peso de 100 sementes.
4. O rendimento da cultura da mamona declina sensivelmente na condição de excesso hídrico quando esta é cultivada em solos argilosos e de difícil drenagem.
5. Quando irrigada adequadamente até 100 dias e adensada na configuração de 0.37 x 0.60cm, a planta da mamoneira emite 3.5 cachos, no entanto a planta por apresentar crescimento indeterminado, continua emitindo e até formando cachos de terceira ordem enquanto amadurecem os secundários, o que a torna interessante para cultivo de sequeiro.
6. Plantas de mamoneira adensada na configuração de 0.37 x 0.60 cm e submetidas a deficits e excessos hídricos não diferem em diâmetro de caule e estabilizam o crescimento em diâmetro aos 60 dias, motivado pela grande competição intraespecífica;
7. Em condições de deficiência hídrica, a mamoneira responde bem com alta eficiência de uso de água;

8. A reposição da água consumida pela mamoneira cultivar BRS Energia permite uma maior resposta econômica comparando-se a lâminas com menores quantidades de água.

Sugestões:

1. Estender o período de estudo de modo a atingir a até os racemos de terceira ordem, já que estes já encontram em desenvolvimento quando a irrigação é suspensa aos 100 dias e estes não foram colhidos;
2. Suspender a irrigação antes dos 100 dias e avaliar o comportamento da planta, já que esta pode reduzir o ciclo e não investir em cachos que se tornarão inviáveis. Em ambos os casos considerar que a planta da mamoneira possui hábito de crescimento indeterminado e que responde bem ao suprimento de água no solo para externar esta característica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39)
- ALENCAR, J. R. de; HERRUZO, C.; HEOEFLICH, V. A.; OLIVEIRA, E. B. de. Impactos econômicos da pesquisa e desenvolvimento de um sistema informatizado para manejo florestal de *Pinnus spp.* **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 425-446, 2004.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R.G.; PRUITT, W.O.; JENSEN, M.E. Environmental requirements of lysimeters. In: ALLEN, R.G, HOWELL, T.A., PRUITT, W.O., WALTER, I.A., JENSEN, M.E. (ed.). **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements. Proceedings of the International Symposium on Lysimetry**, New York: ASCE, 1991. p. 170-181.
- ALMEIDA, F. T. de; BERNARDO, S.; SOUSA, E. F. de; MARIN, S. L. D.; GRIPPA, S. Análise econômica baseada em funções de resposta da produtividade versus lâminas de água para o mamoeiro no Norte Fluminense. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 675 – 683, 2004.
- ALVES, A.V.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B. Balanço de energia e reflectância de um cultivo de melão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.139-146, 1998.
- AMARAL, J. G. C. do, **Variabilidade genética para características agronômicas entre progênies autofecundadas de mamona (*Ricinus communis* L.) cv AL Guarany 2002**. 2003. 59 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu.
- AMORIM NETO, M.S. **Termometria a infravermelho associada ao balanço de energia na determinação do índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado**. UFMG, Viçosa – MG, 1995. 89 p. (Tese de Doutorado).
- AMORIM NETO, M.S.; ARAÚJO, A.E. de; BELTRÃO, N.E. de M. Clima e solo. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (Eds.) **O agronegócio da mamona no Brasil**. Embrapa Algodão (Campina Grande, PB). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 37-61, 2001.
- AMORIM NETO, M.S.; GOMIDE, R. L.; SEDIYAMA, G. C.; et al. Índice de estresse hídrico da cultura do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 49-53. 1996.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Manejo de água em agricultura irrigada**. Teresina: EMBRAPA/UEPAC, 1992. 37p. (EMBRAPA/UEPAC. Circular Técnica, 10).

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; GOMES, A. A. N.; SILVA, C. O. Análise frequencial de elementos climáticos para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação na região de Teresina, PI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. São Pedro-SP. Anais... CD-ROM. 2004.

ANGUS, D.E.; WATTS, P.J. Evapotranspiration: How good is the Bowen ratio method? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.8, p.133-150, 1984.

ÁVILA NETTO, J. **Necessidades hídricas da videira européia**. DCA/CCT/UFPB. Campina Grande, 1997. 85p. (Dissertação de Mestrado).

AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, J. W. dos; VIEIRA, D. J.; LIMA, E. F.; BATISTA F. A. S.; PEREIRA, J. R. Efeito de população de plantas no rendimento do consórcio de mamona com culturas alimentares. **Rev. Bras. Ol. Fibrós.**, Campina Grande: Embrapa Algodão, v. 2, n. 3, p. 193-202. set-dez. de 1998.

AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Embrapa Algodão (Campina Grande, PB). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 350 p.

AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S.; LIMA, E.F. **Recomendações técnicas para o cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) no Brasil**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1997. 52 p. (EMBRAPA-CircularTécnica,25).

AZEVEDO, H. J. **Influência de elementos climáticos no desempenho de sistemas de irrigação por aspersão na região Norte Fluminense**. Viçosa-MG. UFV. 1998. 145p. (Tese de Doutorado).

AZEVEDO, H.M. de. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba**. 2002. 110f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v, 58, p. 241-254, 2003.

AZEVEDO, P.V. de; RAO, T.V.R.; AMORIM NETO, M. da S.; BEZERRA, J.R.C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MACIEL, G.F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, DF, v. 28, n. 7, p. 863-870, 1993.

AZZINI, A.; SALGADO, A. L. de B; SAVY FILHO, A.;BANZATTO, N. V. Restos vegetais da cultura da mamona como matéria-prima para celulose. **Bragantia**, Campinas, v. 40, n. 1, p. 115-124, jul. de1981.

AZZINI, A.; SAVY FILHO, A.; SALGADO, A. L. de B.; ARNALDI, F. Z. Deslignificação dos resíduos agrícolas da cultura da mamona par produção de celulose e papel. **Bragantia**, Campinas, v. 43, n. 2, p. 519-530, 1984.

BARANOV, V.F. Irrigation. In: MOSHKIN, V.A. (Ed.). **Castor**. New Delhi: Amerind Publishing, 1986. p.237-248.

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. da. Aspectos agro-econômicos da calagem e da adubação nas culturas de arroz e feijão irrigados por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 11, p. 1657-1667, 1994.

BARRETO, A. N. Quantificação de água necessária para a mamoneira irrigada com base nas constantes hídricas do solo. In: I Congresso Nacional da Mamona. Campina Grande-PB. **Anais...**, CD-ROM. 2004.

BEADLE, C.L. Growth analysis. In: HALL, D.O.; BOLHARNORDENKAMPF, H.R.; LEE GOOD, R.C. et al. (Eds.) **Photosynthesis and production in a change enviroment: a field and laboratory manual**. London: 1993. p.36-46.

BELTRAO, N. E. de M., et al., **O agronegócio da mamona no Brasil**: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 63-67.

BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C.; VASCONCELOS, O. L.; AZEVEDO, D. M. P.; VIEIRA, D. J. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2001. cap. 2, p. 37-62.

BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C.; VASCONCELOS, O. L.; AZEVEDO, D. M. P.; VIEIRA, D. J. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2001. cap. 2, p. 37-62.

BELTRÃO, N.E. de M.; SILVA, L.C. Os múltiplos usos do óleo da mamona (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. **Fibras e Óleos**, Campina Grande, n. 31, 1999. p. 7.

BELTRÃO, N.E.M. **Sistema de produção de mamona em condições irrigadas: Considerações gerais**. Campina Grande: EMBRAPA CNPA, 2004. 14p. (EMBRAPA CNPA. Documentos 132).

BELTRÃO, N.E.M.; MELO, F.B.; CARDOZO, G.D.; SEVERINO, L.S. **Mamona: Árvore do Conhecimento e Sistemas de Produção para o Semi-Árido Brasileiro**. Campina Grande: EMBRAPA CNPA, 2003. 19p. (EMBRAPA CNPA. Circular Técnica, 70).

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal, FUNEP, 1988. 42p.

BEZERRA, J.R.C. **Crescimento, desenvolvimento e rentabilidade do algodoeiro BRS 200 - Marrom irrigado**. 2007. 88p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília, DF, 1992. 84p.

BURBA, G.G.; VERMA, S.B.; KIM, J. Surface energy fluxes of *Phragmites australis* in a prairie wetland. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.94, n.1, p.31-51, 1999.

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C.; TORRES, A. C. Ajuste de funções não lineares de crescimento. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, n.1, p. 9-18, 1989a.

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C.; TORRES, A. C. Comparação de modelos e estratégias para análise de crescimento. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, n.1, p. 1-7, 1989.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **O Biodiesel e a inclusão social**. Brasília. Coordenação de Publicações, 2003. 24 p. il. – (Série estudos científicos e tecnológicos, 1)

CARDOSO, G. B.; VIANA, T. V. de A.; AZEVEDO, B. M. de; SOUSA, V. F. de; SOUSA, F. Determinação da ET de referência pela razão de Bowen com psicrômetros instalados a diferentes alturas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 1, p. 16-23, 2005.

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

CARVALHO, J. M. F.; PIO, K. B.; SANTOS, ;ALMEIDA, F de A. C. Germinação e contaminação de sementes de mamoneira *in vitro* mediante quebra de dormência e desinfecção. **Revista Brasileira Oleaginosa e Fibrosas**, v. 6, n. 1, p. 483 a 490, jan-abr. 2002.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação: a fronteira hídrica na produção de alimentos. In: **Irrigação e tecnologia moderna**, Brasília, n.54, 2002. p.46-55.

CIMMYT. **A formulação de recomendações a partir de dados agronômicos: Um manual metodológico de avaliação econômica CIMMYT – Programa de Economia**. Disponível em: <http://www.cimmyt.org/research/economics/manualport/Manual/manualportpart3.htm> Acesso em: Agosto 2007.

COLL, J.B.; RODRIGO, G.N.; GARCIA, B.S.; TOMÉS, R.S. **Fisiologia vegetal**. Madrid: Ediciones Pirámide, 1988. 819p.

CONAB. **Acompanhamento da Safra 2003/2004: sexto levantamento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 14 set. 2004

CONAB. Estimativa de área plantada – safras 1997/98, 1998/99 e 1999/2000. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/politica_agricola/safra/cptarebr.cfm>. Acesso em: 20 set. 2003.

CONCEIÇÃO, M.K.; LOPES, N.F.; FORTES, G.R.L. Partição de matéria seca entre órgãos de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) LAM), cultivares abóbora e da costa. **R. Bras. Agrociência**, v.10, n. 3, p. 313-316. 2004.

COUTO, L.; SANS, L.M.A. **Requerimento de Água das Culturas**. Sete Lagoas. EMBRAPA: CNPMS. 2002. 10p. (EMBRAPA: CNPMS. Circular Técnica, 20).

CRIAR E PLANTAR. **Mamona Clima e Solo**. Disponível em: <<http://criareplantar.com.br/agricultura/mamona/mamona.php?tipoConteudo=texto&idConteudo=1350>>. Acesso em: 10 set. 2003.

CUENCA, R.H.; NICHOLSON, M.T. Application of Penman equation: wind function. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.108, p.69-76, 1982.

CUNHA, G.R. da; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.1-14, 1996.

CURI, S. , CAMPELO JUNIOR., J.H. Necessidades hídricas da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) na Baixada Cuiabana. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n.1, p. 59-65, 2001.

CURI, S. ; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.), em Santo Antônio do Leverger-MT. In: I Congresso Brasileiro de Mamona, 2004, Campina Grande-PB. **Anais...**, CD-ROM. 2004.

D'YAKOV, A.B. Properties of photosynthesis. In: MOSHKIN, V.A. (Ed.). **Castor**. New Delhi: Amerind Publishing, 1986. p.65-68

DAI, Z.; EDWARDS, G. E.; KU, M. S. B. Control of photosynthesis and stomatal conductance in *Ricinus communis* L. (Castor Bean) by leaf to air vapor pressure deficit. **Plant. Physiol.**, v. 99, p. 1426-1434, 1992.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting**. Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 24. Food and Agriculture Organization of United Nations, Roma, Italia, 1975, 180p.

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. Paper n. 33.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 2000. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33)

DOORENBOS, J.; PRUITT, O. W. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 306p. (FAO. Irrigação e drenagem, 24).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de água de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 194p. Riego y Drenaje, n.24.

DUKE, J. A. *Ricinus communis* L. **Handbook of Energy Crops**. Purdue, 1983.

EMBRAPA- **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis L.*)**, Campina Grande: EMBRAPA-CNPA. 1997. 52p. (EMBRAPA-CNPA. Circular Técnica, 25).

EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Sistema de Produção de Informação - SPI, 1999. 412p.

EMBRAPA. **BRS ENERGIA**. Campina Grande, Paraíba. Embrapa Algodão. 2007a. (Folder).

EMBRAPA. **Cultivares**. Disponível: <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/cultivares.html>. Acesso em 05 de dez. 2007.

EMBRAPA. **Sistema de produção para a cultura da mamona na agricultura familiar no semi-árido nordestino**. Campina Grande, Paraíba. Embrapa Algodão. 2003. (Folder).

ENGEL, R. E. Simulated growing-season precipitation and nitrogen effects on winter wheat yield. **Agron. J.**, Madison, v.83, p180-185, 1991.

FARIA, R.A.; CARVALHO, D.F.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, M.A.A. Influência do método de estimativa da evapotranspiração de referência na demanda de irrigação suplementar para o milho (*zea mays l.*), na bacia do rio Verde Grande (MG). **Ciência Agrotécnica.**, Lavras, v.24 (Edição Especial), p.187-196, dez., 2000.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3. ed. Maceió: EDUFAL, 2000. 421p.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, n.26, p.403-410, 1991.

FORNAZIERI JÚNIOR, A. **Mamona: uma rica fonte de óleo e de divisas**. Ed. Ícone, São Paulo. 1986. 71 p.

FREIRE, E.C.; ANDRADE, F. P. de; SANTANA, J. C. F. De; BELTRÃO, N. E. de M.; PEDROSA, M. B.; WANDERLEY, M. J. R.; ASSUNÇÃO, J. H. de BRS 200 Marrom; Cultivar de algodão de fibra colorida para uso por agricultores familiares do Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3, 2001, Cuiabá. **Anais...**, Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. p.765-767.

FREIRE, R.M.M.; SEVERINO, L.S.; MACHADO, O.L.T. **Ricinoquímica e co-produtos**. In: AZEVEDO, D.M.P.; BELTRÃO, N.E. De M. (Edts. Téc.). O Agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

FRIZZONE, J. A. **Planejamento da irrigação: uniformidade e eficiência da irrigação**. Piracicaba, SP: ESALQ, Depto. Engenharia Rural, 1997. 53p. (Série Didática, 3).

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2005. Cap. 7, p. 283 - 314.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J.F. balanço de energia na cultura de pepineiro em ambiente natural e protegido. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n.2, p.127-137. 2001.

GOMIDE, R. L.; CARVALHO, L. J. C. B.; RODRIGUES, G. C. **Gradiente de aplicação de água sobre as culturas através de uma linha central de aspersores**. EMBRAPA/ CNPMS, Sete Lagoas. 1991. (EMBRAPA/ CNPMS Mimeogr).

GONÇALVES, N. P.; BENDEZÚ, J. M.; LELES, W. D. Época, espaçamento e densidade de plantio para a cultura da mamona. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 7, n. 82, p. 33-35, 1981.

GONDIM, T. M. de S.; NÓBREGA, M. B. de; SEVERINO, L. S.; VASCONCELOS, R. A. de.; Adensamento de mamoneira sob irrigação em Barbalha, CE. In: I Congresso Nacional da Mamona. Campina Grande-PB. **Anais...**, CD-ROM. 2004.

GONDIM, T. M. S.; NÓBREGA, M. B. M.; SEVERINO, L. S.; VASCONCELOS, R. A. de. Adensamento de mamoneira sob irrigação em Barbalha, CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

GRISMER, M. E. Regional cotton lint yield, Etc and water value in Arizona e California. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 54, p. 227-242, 2002.

HANKS, R. J.; KELLER, J. RASMUSSEN, V. P.; WILSON, G. D. Line sources sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.40, p. 426-429, 1976.

HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.4, n.1, p.261-263, 1989.

HEILMAN, J.L.; McINNES, K.J.; SAVAGE, M.J. et al. Soil and canopy energy balances in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, n.1, p. 99-114, 1994.

HEMERLY, F.X. **Mamona: comportamento e tendências no Brasil**. Brasília, Embrapa - Departamento de Informação e Documentação, 1981. 69p. (EMBRAPA-DTC. Documentos, 2).

HOFFMANN, R. **Análise de regressão – uma introdução à economia**. 3. ed. São Paulo: HUCITEC, 1998. 379p.

HOWELL, T.A.; McCORMICK, R.L.; PHENE, C.J. Design and instalation of large weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 117, p. 106-112, 1985.

HSIAO, T. C.; BRADFORD, K. J. Physiological consequences of cellular water deficits. In: TAYLOR, H. M.; JORDAN, W. R.; SINCLAIR, T. R. **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison: American Society of Agronomy/Crop Science Society of América/Soil Science Society of America. 1983. p. 227-265.

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona/importancia.htm>> Acesso em abril de 2006.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria>>. Acesso em: 7 set. 2006.

IRVINE, M. R.; GARDINER, B. A.; MORSE, A. P. Energy partitioning influenced by tree spacing. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 39, p. 211-224, 1998.

JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). *Water deficits and plant growth*. New York: Academic Press, 1968. v.2, p.1-22.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: ed. AnaviBook/Van Nostrand Reinhold, 1990. 652.

KHALIL, C. N. Economicidade e sustentabilidade do processo de produção de biodiesel a partir da semente de mamona. In: HOLANDA, A. **O biodiesel e a inclusão social**. Brasília: Câmara dos deputados, Coordenação de publicações, 2003. Videoconferência.

KITTOCK, D. L.; WILLIAMS, J. H. Influence of planting date on certain morphological characteristics of castor beans. **Agro. Journal**, Oxford, v. 60, p. 401-403, jul-aug., 1968.

KOUTROUBAS, S. D., et al. Water requirements for Castor Oil Crop (*Ricinus communis* L.) in a Mediterranean Climate. **J. Agronomy & Crop Science**, n.184, p.33-41. 2000.

KUDREV, T. G. **Água: vida das plantas**. São Paulo: Ícone, 1994. 178p.

KVET, J. et al. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z. et al. (Ed.). **Plant photosynthetic production: manual of methods**. The Hague: W. Junk, 1971. p.343-391.

LAMAUD, E.; BRUNET, Y.; BERBIGIER, P. Radiation and water use efficiency of two coniferous forest canopies. **Physics and Chemistry of the Earth**, Great Britain. v. 21, n. 5-6, p. 361-365, 1996.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Ed. Rima. São Carlos, 2000. 531 p.

LEMON, E.R.; GLASER, A.H.; SATTERWHITE, L.E. Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factors to evapotranspiration. Soil Science Society of America, **Proceedings...** Madison, v.21, n.5, p.464-8, 1957.

LEVATAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro: IBGE/CPAGRO, 1996.

LINS, E. de C.; TAVORA, F. J. A. F.; ALVES, J. F. Efeito da ordem do racemo nas características de sementes de mamona (*Ricinus communis* L.). *Rev. Ciênc. Agron.*, Fortaleza, v. 6, n. 1/2, p. 91-98. 1976.

LOPES, P. M. O. **Evapotranspiração da mangueira na região do Submédio São Francisco**. DCA/CCT/UFPB 108p. Campina Grande, PB, 1999. (Dissertação Mestrado).

LOPES, P. M. O.; SILVA, B. B. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, V. P. R.; TEIXEIRA, A. H. C.; SOARES, J. M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Balanço de energia num pomar de mangueira irrigada. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2001.

LORENZI, H. (Ed.). **Plantas daninhas do Brasil: aquáticas, terrestres e tóxicas**. 3. ed. Nova Odessa-SP: Plantarum, 2000. 608p.

LOUREIRO, M.E. **Transporte no floema e partição de fotoassimilatos**. Material didático de apoio à disciplina BVE 270. Disponível em: <<http://www.ufv.br/DBV/PGFVG/Bve%20270/pdf/Floemac.doc>>. Acesso em: 1 de jun de 2004.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. (Coord.). **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU/Ed. Universidade de São Paulo, 1979. p. 331-350.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1986, 1: 331-350.

MAGALHÃES, A.C.N. **Análise quantitativa do crescimento**. In: FERRI, M.G. (Coord.). **Fisiologia vegetal**. 2.ed. rev. atual. São Paulo: Ed. Pedagógica e Universitária, 1985. v.1, cap.8, p.333-350.

MALTA, D.S.; SANTOS, D.B.; HOLANDA FILHO, R.S.F.; LIMA, I.S. Variabilidade da altura de inserção do primeiro cacho e da altura de dez genótipos de mamona cultivados em Senhor do Bonfim-BA. III CBA 2008.

MARTINEZ-ÁUSTRIA, P. **Uso eficiente del água em riego**. Disponível em: http://www.unesco.org.uylphi/libros/uso_eficiente/cap4.html. Acesso em 23/06/2006.

MATOS, E.H.S.F. **Dossiê técnico: Cultivo da Mamona e Extração do Óleo**. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UNB, Julho de 2007. Disponível em: <http://www.slideshare.net/alextoستا/cultivo-da-mamona>. Acesso em: 20 dez. 2007.

MAZZANI, B. Euforbiáceas oleaginosas. Tártago. In: MAZZANI, B. **Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas**. Caracas, Venezuela: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 1983. p. 277-360.

MELLO JÚNIOR. **Funções de resposta do trigo (*Triticum aestivum* L.) a níveis de irrigação de nitrogênio.** Botucatu-SP: UNESP, 1992. 154p. (Dissertação de Mestrado).

MELO, F. de 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: Embrapa – CPAMN, 2003. 89 P. (EMBRAPA – CPAMN. DOCUMENTOS, 74).

MENDONÇA, F. C.; MEDEIROS, R. D.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Aducação nitrogenada do milho em sistema de irrigação por aspersão em linha. **Scientia Agrícola**, v.56, n.4, p.1035-1044, out/dez. 1999. Suplemento.

MILANI, M.; ANDRADE, F.P.; NÓBREGA, M.B.M.; SILVA, G.A.; MOTA, J.R.; MIGUEL JÚNIOR, S.R.; DANTAS, F.V.; SOUSA, R.M. Avaliação de genótipos de porte baixo de mamona na região de Irecê, BA. In: II CONGRESSO NACIONAL DA MAMONA. Aracaju-SE. **Anais...**, CD-ROM. 2006.

MILLER, D.E.; HANG, A. N. Deficity high-frequency irrigation of sugarbeets with the line source technique. Soil Science. **Society American Journal**, Madison, v. 44, p.1295-1298, 1980.

MONTEITH, J. L. Light interception and radiative exchange in: crop stands. In: EASTIN, J. D.; HASKINS, F. A.; SULLIVAN, C. T. et al. (eds.). **Physiological aspects of crop yield.** Madison: American Society of Agronomy, 1969. p. 89-111.

MOSHKIN, V. A. **Castor.** New Delhi: Oxonian Press, 1986. 315p.

MOURA, M. S. B. **Consumo hídrico, produtividade e qualidade de fruto da goiabeira irrigada na região do submédio São Francisco.** CCT/UFCG. 122p. Campina Grande, 2005. (Tese de Doutorado).

MOURA, M. S. B. **Fenologia e consumo hídrico da goiabeira irrigada.** DCA/CCT/UFPB. 124p. Campina Grande, 2001. (Dissertação de Mestrado)

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 13., 1996. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 15-95.

NILWIK, H.J.M. Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.): 2. Interacting effects of irradiance, temperature and plant age in controlled conditions. **Annals of Botany**, London, v.49, p.137-145, 1981.

OHMURA, A. Objective criteria for rejecting data for Bowen ratio flux calculations. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 21, p. 595-598, 1982.

OLIVEIRA, F. A. de; CAMPOS, T. G. da S. Manejo da irrigação na cultura do algodoeiro herbáceo em condições semi-áridas do Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 5, p. 521-535, 1997.

OLIVER, H.R.; SENE, K.J. Energy and water balance of developing vines. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.61, n.2, p.167-185, 1992.

OLSNES, S. The history of ricin, abrin and related toxins. *Toxicon*, Oxford, v. 44, p.361-370, 2004. Disponível em: <<http://www.elsevier.com.br/locate/toxicon>>. Acesso em: 23 abr. 2006.

OPLINGER, E. S.; OELKE, E. A.; KAMINSKI, A. R.; COMBS, S. M.; DOLI, J. D.; SCHULER, R. T. *Ricinus communis L. Field crops manual*, Purdue, 1997. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/castor.html>>. Acesso em: 12 de out. 2006.

OXFORD INSTRUMENTS. *Instruction manual*. Oxford, 1995. 21p.

PARENTE, E. **Pai do Biodiesel afirma que o Brasil acerta em priorizar investimento no setor.** Disponível em: <<http://www.fapepi.pi.gov.br/sapiencia2/entrevista-completa.php>>. Acesso em: 10 fev. 2007.

PEDRO JÚNIOR, M.J.; VILLA NOVA, N.A **Balanço de energia em soja (*Glycine max* L. Merr).** *Turrialba*, San José, v.31, n.4, p.309-312, 1981.

PEREIRA, A.R., MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais.** Campinas, Instituto Agrônômico, 1987. 33p. (Boletim Técnico, 114).

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDYAMA, G.C. **Evapotranspiração.** Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R.G. **Engenharia Agrícola**, Jabotical, v.16, n.4, p.118-143, 1997.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 97, p. 141-150, 1999.

PERRIER, A. Updated evapotranspiration and crop water requirement definitions. In : **Les besoins en eau des cultures. Crop water requirements.** Paris : INRA Publications, 1984. 927 p. p. 885-887.

POMMER, C.V.; PASSOS, I.R.S. **Fisiologia da videira: como produz açúcar uma videira?** Campinas: Instituto Agrônômico, 1990. 20p. (IAC. Documentos, 20).

POORTER, H. Interspecific variation in relative growth rate: on ecological causes and physiological consequences. In: LAMBERS, H.; CAMBRIDGE, M.L.; KONINGS, H. et al. (Eds.) **Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants.** Hague: Netherlands, 1989. p.45-67.

POPOVA, G.M.; MOSHKIN, V.A. Botanical classification. In: MOSHKIN, V.A. (ed.) **Castor.** New Delhi: Amerind Publishing, Co. Put. Ltd. 1986. p. 11-27.

PRUEGER, J.H.; HATFIELD, J. L. AASE, J. K. PIKUL JR., J.L. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 5, p. 730-736, 1997.

QUEIROZ, J. E. de; CALHEIROS, C. B. M.; PESSOA, P. C. S.; FRIZZONE, J. A. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n.1, p.55-61, 1996.

REICHARDT, D.H.R.; MEDINA, V.M. crescimento e qualidade do fruto do abacaxi cvs. Pérola e Smooth cayene. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.3. 1992. p.435-447.

Revista Lecta, Bragança Paulista, v. 20, n. 2, p. 183-194, jul./dez. 2002.

RIBEIRO FILHO, J. **Cultura da mamona**. Viçosa. MG: UFV, 1966. 75p.

ROCHER, J.P. et al. Genetic variability in carbon fixation, sucrose-P-synthase and ADP glucose pyrophosphorylase in maize plants of differing growth rate. **Plant Physiology**, Lancaster, v.89, n.2, p.416-420, 1989.

RODRIGUES, L.N. **Níveis de reposição da evapotranspiração da mamoneira irrigada com água residuária**. Campina Grande: UFCG, 2008. 144p. (Tese de Doutorado).

RODRIGUES, M. F.G. **Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201**. 2003. 132f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

RODRIGUES, M. F.G.; **Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201**. CCT/UFCG. 132p. Campina Grande, PB, 2003 (Tese de Doutorado).

RODRIGUES, R. F. de O.; OLIVEIRA, F. de; FONSECA, A. M. As folhas de palma Christi – *Ricinus communis* L. *Euphorbiaceae* Jussieu. Revisão de conhecimentos.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L. VERMA, S. B. **Microclimate: The biological environment**. Lincoln. Nebraska - USA, 1983. 495p.

SANTOS, R. F. dos.; KOURI, J. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracajú. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 1 CD-ROM.

SANTOS, R. F.; BARROS, M. A. L. **Cultivo da mamona**. In: **EMBRAPA – Sistemas de Produção**, 4 ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica, Jan/2003. Disponível em:

SAS/STAT, **User guide**. SAS Institute. SAS onlinedoc®, versão 9.1.3, Cary, 2004. CD ROM.

SAVY FILHO, A. Mamona. **Centro de plantas graníferas/oleaginosas**. IAC. Campinas-SP, 2004. Disponível em: <<http://www.iac.gov.br>>. Acesso em: 19 set. 2004.

- SAVY FILHO, A. **Mamona: tecnologia agrícola**. Campinas: EMOPI, 2005. 105p.
- SAVY FILHO, A. **Melhoramento de espécies cultivadas: melhoramento da mamona**. Viçosa – MG: UFV, 1996. p.385-407.
- SEARA (FORTALEZA, CE). **Projeto recuperação da cotonicultura estadual**. Fortaleza, 1989. p. 32-39.
- SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração: necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABEAS, 1996. 167p. (ABEAS. Curso de Engenharia de Irrigação. Módulo 2).
- SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. In: Miranda, J. H.; PIRES, R. C. M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, p. 63-120, 2001.
- SEVERINO L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; FREIRE, W.S.A.; CASTRO, D.A.; CARDOSO, G.D.; BELTRÃO, N.E.M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, DF, v.41, n. 4, p.563-568, 2006.
- SEVERINO, L.S.; CARDOZO, G.D.; VALE, L.S.; SANTOS, J.W. Método para determinação da área foliar da mamoneira. **Rev. Bras. de Ol. e Fibros**. Campina grande. v. 8, n. 1. 2004. p.753-762.
- SEVERINO, L.S.; LUCENA, A.M.A.; SAMPAIO, L.R.; TAVARES, M.J.V.; BELTRÃO, N.E.M.; CLODOALDO, R.D.B. **Descrição das fases do desenvolvimento reprodutivo da mamoneira visando ao manejo da colheita**. Campina Grande, 2007. 7p. (Circular Técnica, 115).
- SHARMA, M.L. **Estimating evapotranspiration**. In: _____. *Advances in Irrigation*. New York: Academic Press, 1985. v.3, p.213-81
- SILVA, A. L. da. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico: um estudo de caso em uma cultura de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no Brasil**. ESALQ/USP. 72p. Piracicaba – SP, 2005 (Tese de Doutorado).
- SILVA, B. B. da; BELTRÃO, N.E. de M.; RODRIGUES, M.F.G.; BEZERRA, J.R.C.; PEREIRA, J.R. Evapotranspiração do algodoeiro herbáceo no Cariri cearense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 4., 2003, Goiânia, GO. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão/Fundação GO, 2003. CD-Rom (Embrapa Algodão. Documentos, 118).
- SILVA, L. C.; AMORIM NETO, M. S.; BELTRÃO, N. E. de M. **Recomendações técnicas para o cultivo e época de plantio de mamona cv. BRS 149 (Nordestina) na micro-região de Irecê, Bahia**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2000. 6p (Comunicado Técnico, 112).
- SILVA, L. D. B. da; FOLEGATTI, M.V.; VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n.3, 2005, p. 705 – 712.

SILVA, L.C.; BELTRÃO, E. de M.; AMORIM NETO, M. da S. **Análise de crescimento de comunidades vegetais**. Campina Grande: Embrapa- Algodão, 2000. 47p.

SILVA, L.C.; FIDELIS FILHO, J.; BELTRÃO, N.E. de M.; RAMANA RAO, T. V.; SANTOS, J.W.; Análise de crescimento de amendoim submetido a diferentes níveis de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995, p. 145-146.

SILVA, L.D.B. **Evapotranspiração do capim tanzânia** (*Panicum maximum* Jacq.) e **grama batatais** (*Paspalum notatum* Flugge) **utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. Piracicaba: São Paulo. 93 p. 2003. (Tese de Doutorado).

SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da Seasonal patterns of the energy balance components in a mango (*Mangifera indica* L.) orchard grown in Northeast Brazil. **Agricultural Journal**, v.1, n.1, 2006. 18-23.

SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da Seasonal patterns of the energy balance components in a mango (*Mangifera indica* L.) orchard grown in Northeast Brazil. **Agricultural Journal**, v.1, n.1, 2006. 18-23.

SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da. Seasonal patterns of the energy balance components in a mango (*Mangifera indica* L.) orchard grown in Northeast Brazil. **Agricultural Journal**, v.1, n.1, 2006. 18-23.

SOARES, J. M. **Consumo hídrico da videira Festival sob intermitência de irrigação no sub-médio São Francisco**. 2003. 309p. Tese (Doutorado) – UFCG, Campina Grande, PB.

SOUSA, I. F. de. **Manejo de irrigação, consumo hídrico e produtividade do coqueiro anão verde nos Tabuleiros Costeiros norte do Estado de Sergipe**. 2005. 143f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.

SOUZA, A.S. **Manejo cultural da mamoneira: época de plantio, irrigação, espaçamento e competição de cultivares**. 2007. 211 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SOUZA, C. B. de. **Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do abacaxizeiro nos tabuleiros de Santa Rita – PB**. CCT/UFCG. 124p. Campina Grande – PB, 2003 (Tese de Doutorado).

SOUZA, J.L.; AZEVEDO, P.V. de; BASTOS, E.J.B. Variação estacional do coeficiente de cultivo numa cultura de milho irrigado. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, 1987, Belém. **Coletânea de trabalhos...** Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. p.126-129.

TÁVORA, F. J. A. F.; ALVES, F. J.; QUEIROZ, G. M. de; PINHO, J. L. N. de. Estudo da densidade de plantio em mamona anã *Ricinus communis* L. **Rev. Ciên. Agron.** Fortaleza, v. 4, n. 1/2, p. 89- 93, dez., 1974.

TÁVORA, F.J.A. **A cultura da mamona.** Fortaleza: EPACE, 1982. 111p.

TAYLOR, H. M.; WILLATT, S.T. Shrinkage of soybean roots. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, p. 818-820. 1983.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASSOI, L. H.; et al. Evapotranspiração e coeficientes de cultura da bananeira obtidos pelo método da razão de Bowen. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 2, 2001, Fortaleza – CE. **Anais...**, Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 365-370. 2001.

TEIXEIRA, A.H. DE; AZEVEDO, P.V. DE; SILVA, B.B. DA; SOARES, J.M. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, p.327-330, 1999.

TEIXEIRA, A.H.C.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; SOARES, J.M. Balanço de energia na cultura da videira, cv. "Itália". **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.137-141, 1997.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio.** Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, jul. 2002.

TODD, R. W.; EVETT, S. R; HOWELL, T. A. The Bowen ratio-energu balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfafa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p. 335-348, 2000.

TRAMBOUZE, W.; BERTUZZI, P.; VOLTZ, M. Comparision of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-roped vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.91, p. 193-208, 1998.

URCHEI, M.A. et al. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.497-506, mar.2000.

USDA. **Castorbean production.** Washington: U.S. Departamento of Agriculture, 1960. (Famer's Bulletin, 2041).

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia.** Brasília: INMET, Pax, 2001. p. 445 – 508.

VAUX, H. J.; PRUITT, W. O. Crop-water productions functions. In: HILLEL, D. (Ed.) **Advances in irrigation.** New York: Academic Press, v.2, p. 61-97. 1983.

VEIGA, R. F. A.; SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V. **Descritores mínimos para caracterização e avaliação de mamoneira (*Ricinus communis* L.) aplicados**

no Instituto Agronômico. Campinas: Instituto Agronômico, IAC, 1989, 16p. (Boletim técnico, 125).

VERMA, S. B.; ROSEMBERG, N. J.; BLAD, B. L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 17, p. 330-338, 1978.

VIANA, S. B. A. **Otimização do uso de água e nitrogênio no cultivo do algodoeiro herbáceo na região Oeste da Bahia**. 2005. 143f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

VIJAYA KUMAR, P.; RAMAKRISHNA, Y. S.; RAMANA RAO, B. V.; VICTOR, U. S.; SRIVASTAVA, N. N.; SUBBA RAO, A. V. M. Influence of moisture, thermal and photoperiodic regimes on the productivity of castor beans (*Ricinus communis* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, Hyderabad, v. 88, p. 279-289, 1997. Disponível em: <<http://www.scirus.com>>. Acesso em: 20 de dez. 2007.

VILLA NOVA, N.A. **Estudos sobre balanço de energia em cultura de arroz**. ESALQ-USP. Piracicaba, 1973. 89p. (Tese Livre-Docência).

VILLA NOVA, N.A. **Principais métodos de estimativa de aplicação de água de irrigação**. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, 1987. 22 p.

WANJURA, D. F.; UPCHURCH, D. R.; MAHAN, J. R.; BURKE, J. J. Cotton yield applied water relationships under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 55, p. 217-237, 2002.

WATSON, D.J. **The physiological basis of variation in yield**. Advances in Agronomy. New York, v.4. 1952. p.141-145

WEISS, E. A. **Castor, Sesame and Safflower**. London: Leonard Hill Books, 1971.

WEISS, E. A. **Oilseed Crops**. London: Longman, 1983. 660p.

WILLARDSON, L. S., OOSTERHUIS, D. M., JOHNSON, D. A. Sprinkler selection for line-source irrigation systems. **Irrigation Science**. Heidelberg, v.8, p.65-76, 1987.

XAVIER, J.F. **Águas residuárias provenientes de indústria e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS Nordestina**. Campina Grande: UFCG, 2007. 101p. (Dissertação de Mestrado).

YAZAR, A.; SEZEN, S. M.; SESVEREN, S. LEPA and trickle irrigation of cotton in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 54, p. 189-203, 2002.