

ANTONIO FERREIRA DE SOUSA DIAS

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA MAMONEIRA
IRRIGADA**

MOSSORÓ - RN

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ANTONIO FERREIRA DE SOUSA DIAS

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA MAMONEIRA
IRRIGADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi - Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. José Espínola Sobrinho

MOSSORÓ-RN

2009

ANTONIO FERREIRA DE SOUSA DIAS

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA MAMONEIRA
IRRIGADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi - Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: _____ / _____ / _____.

Prof. D. Sc José Espínola sobrinho - UFERSA
Presidente

Prof. D. Sc José Francismar de Medeiros - UFERSA
Primeiro Membro

Prof. D. Sc José Renato Cortez Bezerra - EMBRAPA
Segundo Membro

Prof. D. Sc Francisco de Queiroz Porto Filho - UFERSA
Terceiro Membro

DEDICATÓRIA

A Deus seja dada toda a honra e toda a glória.

À minha esposa, Rose-Mery pela compreensão, apoio, incentivo e pelo amor que se traduziu nos gestos de renúncia e abnegação.

Aos meus filhos Petrus e Agda pelas horas de renúncia da minha presença no convívio familiar.

Ao meu pai Severino Ferreira Dias pela paciência durante o tempo que durou esse curso e renúncia da minha assistência.

À minha mãe Desumira Maria de Sousa Dias (in Memoriam), por tudo que representou como exemplo de honestidade, caráter e integridade.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS sobre todos e sobre tudo, que ungiu homens e instituições para que seus propósitos se cumprissem em mim, e assim, agradeço:

À minha família pelo incentivo.

À EMATER-RO por ter me concedido liberação e vencimentos para execução deste curso, em especial aos gestores:

Sorrival de Lima – Secretário Executivo.

José Tarcísio, José Edny e Lucimar – Membros da comissão de liberação.

À UFERSA, pela oportunidade de formação pessoal, intelectual e profissional.

AO CNPq, por ter disponibilizado os recursos financeiros para execução do projeto.

Aos professores ESPÍNOLA, PORTO e FRANCISMAR pela valiosa e honesta orientação.

Aos colegas da turma, aqueles que partilharam a amizade tanto dentro com fora do curso.

Aos professores do curso, em geral, pelos ensinamentos técnicos transmitidos.

Aos funcionários e diaristas da Fazenda Experimental Rafael Fernandes.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

Aos irmãos em Cristo, membros da Segunda Igreja Batista em Mossoró pelas orações e apóio nas horas mais difíceis, meus agradecimentos especiais.

RESUMO

DIAS, Antonio Ferreira de Sousa. **Crescimento, produção e evapotranspiração da mamoneira irrigada**. 2009. 102f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2009.

A mamoneira é uma oleaginosa de grande importância econômica, social e ambiental. A importância de seu óleo é evidenciado pelo seu amplo uso industrial, devido à sua alta viscosidade e estabilidade em ampla faixa de temperatura e alta capacidade de reações químicas, no entanto, os sistemas de produção utilizados no cultivo desta planta são suportados por bases muito rudimentares, sob a crença generalizada de que a cultura não exige muitos cuidados, e a literatura especializada recomenda o cultivo da mamona apenas em regiões com altitude entre 300 e 1500 metros. Assim, um experimento foi conduzido entre novembro de 2007 e fevereiro de 2008, a fim de avaliar o crescimento e a produtividade e estimar a evapotranspiração desta cultura sob condições de baixa altitude e irrigação localizada. O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com a variedade BRS Energia, densidade de 27.778 plantas por hectare. O suprimento de água à cultura foi viabilizado por um sistema de irrigação por gotejamento usando-se, para determinação das lâminas de irrigação valores de evapotranspiração de referência e coeficientes de cultura calculados de acordo com as recomendações da FAO. A adubação de fundação foi feita manualmente nas linhas de plantio e a adubação de cobertura via água de irrigação. A evapotranspiração da cultura foi estimada pelo método do balanço hídrico do solo, sendo observado maiores valores de E_{Tc} e K_c no período entre a 9^a e a 10^a semana após a semeadura. A emergência das plântulas teve início aos 7 dias após a semeadura e o florescimento das plantas aos 42. As plantas atingiram altura média de 2,32 metros aos 95 dias após a semeadura, quando a irrigação foi suspensa. A cobertura completa do solo pela cultura deu-se aos 65 e o declínio da cultura teve início aos 84 dias após o semeio. A produtividade média foi de 3.554,7 e 1.722,3 kg ha⁻¹ em massa de grãos e de óleo, respectivamente. Os racemos de segunda ordem foram os maiores contribuintes para a produção de grãos e óleo em função do maior número de racemos e teor de óleo dos grãos nessa ordem. A massa média dos grãos foi de 25,4 gramas por 100 grãos e a eficiência do uso da água foi de 0,91 e 0,44 quilogramas por hectare, em massa de grãos e de óleo, respectivamente.

Palavras-chave: *Ricinus communis* L.. Balanço hídrico no solo. Produtividade de grãos. Rendimento de óleo.

ABSTRACT

DIAS, Antonio Ferreira de Sousa. **Growth, yield and evapotranspiration of irrigated castor**. 2009. 102f. Dissertation (MSc in Irrigation and Drainage) - Universidade Federal Rural do Semi-Arid (UFERSA), Mossoró-RN, 2009.

Castor plant is an oilseed of great economic importance, social and environmental. The importance of its oil is evidenced by its widespread industrial use, due to its high viscosity and stability in wide temperature range and high capacity of chemical reactions. However, farming systems used in the operation of this plant are supported by very rudimentary basis, under the general belief that culture does not require much care and specialized literature recommends the cultivation of castor oil, only in regions with an altitude between 300 and 1500 meters. An experiment was conducted between November 2007 and February 2008 in order to evaluate the growth, productivity and estimate the crop evapotranspiration under conditions of low altitude and located irrigation. The work was conducted at the Experimental Farm Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, with the variety BRS Energy, density of 27,778 plants per hectare. The water supply to the culture was made possible by a system of drip irrigation using to determine the irrigation values of reference evapotranspiration and crop coefficients calculated according to the FAO recommendations. The foundation of fertilization was done manually in the rows and topdressing was done through irrigation water. The crop evapotranspiration was estimated using the soil water balance, with higher values of ETc and Kc in the period between the 9th and 10th week after sowing. Seedling emergence started at 7 days after sowing and flowering plants to 42. The plants reached an average height of 2.32 meters to 95 days after sowing, when the irrigation was suspended. Complete coverage of the soil by the crop was estimated at 65 and the decline of culture began at 84 days after sowing. The yield was 3554.7 and 1722.3 kilograms per hectare in grain weight and oil, respectively. The racemes of second order were the largest contributors to the production of grain and oil due to the greater number of racemes and oil content of grains in that order. The average weight of grain was 25.4 grams per 100 grains and the efficiency of water use was 0.91 and 0.44 kilograms per hectare in grains and oil, respectively.

Keywords: *Ricinus communis* L.. Soil water balance. Yield. Oil yield.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Dados climáticos de Mossoró de 10/11/2007 a 16/02/2008.....	50
TABELA 2	Granulometria média do solo da área experimental, densidade global e resultados da análise de fertilidade do solo. Mossoró-RN, 2007.....	51
TABELA 3	Parâmetros para determinação da curva de retenção de água do solo e condutividade hidráulica do solo saturado. Mossoró-RN, 2007.....	53
TABELA 4	Principais características da mamoneira, cultivar BRS Energia (EMBRAPA, 2007).....	55
TABELA 5	Fontes de nutrientes e dosagens utilizadas na adubação da mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró-RN, 2007/08.....	56
TABELA 6	Valores semanais de ET_0 , K_c e ET_c estimados e suprimento hídrico durante o ciclo da cultura da mamona, cultivar BRS energia. Mossoró-RN, 2007/08.....	60
TABELA 7	Temperaturas mínimas, médias e máximas, do ar, obtidas durante o período de execução do experimento.....	70
TABELA 8	Umidades relativas mínimas, médias e máximas do ar, obtidas durante o período de execução do experimento.....	71
TABELA 9	Valores mínimos, médios e máximos de pressão de saturação, pressão real e déficit de pressão de vapor de água registradas durante o período de execução do experimento.....	72
TABELA 10	Valores máximos, mínimos e médios da radiação solar global e líquida durante o período de execução do experimento.....	73
TABELA 11	Número de horas de brilho solar (insolação) durante o período de execução do experimento.....	75
TABELA 12	Velocidade do vento e evapotranspiração de referência durante o período de execução do experimento.....	76
TABELA 13	Balanço hídrico do solo cultivado com mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró-RN, 2007/08.....	82
TABELA 14	Fases fenológicas da mamoneira, cultivar BRS Energia, no período de 12 de Novembro de 2007 a 16 de Fevereiro de 2008, Mossoró-RN.....	89

TABELA 15	Cobertura efetiva do solo e incrementos médios diários durante o ciclo da cultura da mamoneira, cultivar BRS Energia em Mossoró-RN, 2007/2008.....	93
TABELA 16	Comprimento médio de racemos de primeira e segunda ordens da mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró-RN, 2007/2008.....	95
TABELA 17	Número médio de racemos por planta, massa média de frutos por racemo e massa média de frutos por planta da mamoneira, cultivar BRS Energia por ordem de racemos. Mossoró-RN, 2007/2008.....	97
TABELA 18	Componentes de produção da Mamoneira, cultivar BRS Energia em massa dos racemos, frutos e grãos. Mossoró-RN, 2007/2008.....	98
TABELA 19	Rendimento dos principais componentes de produção e massa média de 100 grãos da Mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró-RN, 2007/08..	101
TABELA 20	Eficiência do uso da água (EUA) da Mamoneira cultivar BRS Energia irrigada para as 3 principais ordens de racemos e total em Mossoró-RN 2007/2008.....	107

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Estação experimental da Fazenda Rafael Fernandes – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN.....	49
FIGURA 2	Curvas de retenção de água observadas no solo da área experimental para as camadas de 0 a 20; 20 a 35; 35 a 50 e 50 a 65 cm de profundidade. Mossoró-RN, 2008.....	52
FIGURA 3	Curva ajustada da condutividade hidráulica do solo cultivado com mamona, cultivar BRS Energia, para a profundidade de 50 cm. Mossoró-RN, 2008.....	54
FIGURA 4	Sementes da cultivar BRS Energia, semeadura e gabarito indicando a posição de deposição das sementes em relação à linha lateral de irrigação. Mossoró-RN, 2007.....	55
FIGURA 5	Configuração do sistema de irrigação utilizado, mostrando linhas de distribuição, laterais e emissores. Mossoró-RN, 2007/08.....	57
FIGURA 6	Localização dos tensiômetros em cada bateria para monitoramento da umidade do solo. Mossoró-RN, 2007/08.....	61
FIGURA 7	Variação das umidades relativas, máxima, média e mínima, do ar, durante o período de execução do experimento. Mossoró-RN, 2007/2008.....	69
FIGURA 8	Variação da Radiação global e Radiação Líquida durante o período de execução do experimento. Mossoró-RN, 2007/2008.....	71
FIGURA 9	Variação da duração da insolação possível durante o período de execução do experimento, sob condições de ausência de nebulosidade. Mossoró-RN, 2007/2008.....	72
FIGURA 10	Variação da velocidade do vento durante o período de execução do experimento. Mossoró-RN, 2007/2008.....	74

FIGURA 11	Variação da evapotranspiração de referência durante o período de execução do experimento. Mossoró-RN, 2007/2008.....	75
FIGURA 12	Potencial matricial médio do solo para as profundidades de 20, 40 e 60 cm, medido no intervalo da 5ª à 14ª semana após a semeadura.....	76
FIGURA 13	Ilustração da umidade no perfil do solo da 5ª à 14ª SAS, em relação à umidade do solo na CC, no PMP e umidade crítica. Mossoró-RN, 2007/08.....	77
FIGURA 14	Caracterização do déficit hídrico da cultura ocorrido na 8ª semana após a semeadura, pela relação DRA, ETc. Mossoró-RN, 2007/08.....	78
FIGURA 15	Evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelos métodos do balanço hídrico e do modelo FAO e Evapotranspiração de referência (ET ₀) estimada pelo modelo FAO Penman-Monteith, no período compreendido entre 5ª e a 13ª SAS.....	80
FIGURA 16	Coeficiente de cultivo semanal da cultura da mamoneira irrigada por gotejamento, cultivar BRS Energia, obtido pelo método do balanço hídrico do solo. Mossoró-RN, 2007/08.....	81
FIGURA 17	Curva ajustada de Kc para a cultura da mamoneira, cultivar BRS Energia, a partir da 5ª semana após a emergência, nas condições edafoclimáticas de Mossoró. 2007/08.....	84
FIGURA 18	Marcha de emergência das plântulas de mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró – RN, 2007/2008.....	86
FIGURA 19	Taxas de crescimento diário e evolução da altura das plantas durante o ciclo da cultura.....	87
FIGURA 20	Curva de crescimento (cobertura do solo) da mamoneira, cultivar BRS Energia, do 25º DAE até 100% de cobertura do solo. Mossoró-RN, 2007/08.....	88
FIGURA 21	Número médio de racemos por planta em cada ordem de racemo e número total de racemos da mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró – RN, 2007/2008.....	92
FIGURA 22	Contribuição relativa das ordens de racemo na produtividade total da	

	mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró – RN, 2007/2008.....	94
FIGURA 24	Teor médio de óleo dos grãos de mamona, cultivar BRS Energia, nas três principais ordens de racemo. Mossoró-RN, 2007/08.....	100
FIGURA 25	Produtividade de óleo de mamona, cultivar BRS Energia, por ordem de racemo e produtividade total da cultura. Mossoró-RN, 2007/08.....	103
FIGURA 26	Teor médio de óleo dos grãos de mamona, cultivar BRS Energia, nas três principais ordens de racemo. Mossoró-RN, 2007/08.....	104
FIGURA 27	Produtividade de óleo de mamona, cultivar BRS Energia, por ordem de racemo e produtividade total da cultura. Mossoró-RN, 2007/08.	106

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 A CULTURA DA MAMONA.....	19
2.1.1 Origem e distribuição geográfica	19
2.1.2 Descrição botânica e aspectos gerais.....	20
2.2 REQUERIMENTOS AMBIENTAIS DA MAMONEIRA.....	26
2.2.1 Temperatura do ar	26
2.2.2 Altitude	27
2.2.3 Solos	27
2.2.4 Fotoperíodo	28
2.3 REQUERIMENTOS HÍDRICOS DA MAMONEIRA.....	29
2.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	31
2.4.1 Variáveis intervenientes	34
2.5 COEFICIENTE DE CULTIVO.....	36
2.6 BALANÇO HÍDRICO NO SOLO.....	39
2.7 IRRIGAÇÃO DA MAMONEIRA.....	41
2.8 COMPONENTES DA PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE.....	43
2.9 USOS E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA.....	47
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	48
3.1.2 Características químicas e físico-hídricas do solo	50
3.2 PLANTIO E TRATOS CULTURAIS.....	54
3.3 ADUBAÇÃO UTILIZADA.....	56
3.4 IRRIGAÇÃO.....	57
3.4.1 Descrição do sistema de irrigação	57
3.4.2 Manejo da irrigação	58
3.4.3 Balanço hídrico do solo	61
3.5 CARACTERÍSTICAS CULTURAIS AVALIADAS.....	64
3.5.1 Crescimento.....	64
3.5.2 Fases fenológicas	65
3.5.3 Componentes da produção e produtividade	65

3.5.4 Rendimento de óleo	67
3.6 EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA.....	67
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	69
4.1.1 Temperatura do ar	69
4.1.2 Umidade relativa do ar	70
4.1.3 Pressão de saturação de vapor	71
4.1.4 Radiação solar.....	72
4.1.5 Insolação.....	74
4.1.6 Velocidade do vento.....	75
4.1.7 Evapotranspiração de referência	76
4.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA.....	77
4.2.1 Potencial matricial do solo	77
4.2.2 Umidade do solo.....	79
4.2.3 Déficit hídrico da cultura	80
4.2.4 Balanço hídrico do solo	81
4.2.5 Evapotranspiração	83
4.2.6 Coeficiente de Cultivo	85
4.3 DESENVOLVIMENTO DA CULTURA.....	88
4.3.1 Emergência e fenologia	88
4.3.2 Crescimento.....	91
4.4 COMPONENTES DA PRODUÇÃO.....	94
4.4.1 Comprimento médio dos racemos.....	94
4.4.2 Número médio de racemos por planta.....	95
4.4.3 Massa de frutos por racemo e por planta.....	96
4.5 PRODUTIVIDADE.....	97
4.5.1 Racemos, frutos e grãos.....	97
4.5.2 Contribuição por ordem de racemo.....	99
4.5.3 Rendimento percentual dos componentes da produção.....	100
4.5.4 Massa média dos grãos.....	101
4.5.5 Relação entre o teor de umidade dos frutos e dos grãos	102
4.5.6 Teor de óleo dos grãos	103
4.5.7 Produtividade de óleo de mamona	105
4.6 EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA.....	106

5 CONCLUSÕES.....	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

1 INTRODUÇÃO

A mamoneira, *Ricinus communis* L., também conhecida como carrapateira, palma-de-Cristo, enxerida e rícino é uma espécie oleaginosa arbustiva pertencente à família *Euphorbiaceae*. Sua origem é bastante discutida, apesar da hipótese mais aceita indicar a Etiópia no continente africano, como o provável centro de origem, a partir do qual a planta se espalhou para os demais continentes, sendo encontrada atualmente em todos os países do mundo, especialmente, nos países de clima tropical e subtropical, onde cresce como planta arbustiva ou arbórea, podendo se comportar como anual ou perene dependendo das condições edafoclimáticas.

Atualmente, o cultivo da mamoneira 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 ambientais primordiais ao bom desempenho da mamoneira. Apesar disso, existem áreas cultivadas na Rússia, Grécia, Itália e França, dentre outros países com clima ameno característico. Contudo, é nos trópicos onde a mamoneira encontra as condições ambientais mais propícias ao seu cultivo.

No Brasil, a mamoneira, foi introduzida pelos portugueses, provavelmente no primeiro século do descobrimento, onde se adaptou muito bem e logo se espalhou por todo o território nacional.

É um vegetal de grande importância econômica, social e ambiental e do ponto de vista agroindustrial, seu óleo, fonte quase pura de ácido graxo ricinoléico, é o principal produto. A importância do óleo de mamona é evidenciada pelo seu amplo uso industrial, elevada viscosidade e estabilidade em larga faixa de temperatura e alta capacidade de reações químicas.

O óleo de mamona é utilizado para os mais diversos fins, sendo matéria-prima para as indústrias médica, cosmética, de tintas e vernizes, de lubrificantes para navios e aviões, dentre outras. Na atualidade a aplicação mais importante que vem sendo atribuída ao óleo de mamona é na produção industrial de biodiesel.

Apesar da grande importância de que se reveste a cultura da mamona, os sistemas de cultivo utilizados na exploração desta oleaginosa ainda são sustentados por bases muito rudimentares, decorrentes da crença generalizada de que a cultura não necessita de muitos

cuidados.

A literatura especializada recomenda o cultivo de mamona em regiões com altitude entre 300 e 1500 m, entretanto, a produção de uma cultura está associada a vários outros fatores, principalmente, a disponibilidade hídrica. Assim, estudar a produção de mamona em áreas consideradas não adequadas e em regime de irrigação pode ser de oportuna contribuição para a melhoria dos sistemas de produção com reflexos positivos na elevação da produtividade de grãos, rendimento de óleo e garantir o cultivo na época seca.

Diante do exposto desenvolveu-se o presente trabalho com os objetivos de avaliar o crescimento, a produtividade, o rendimento de óleo e as necessidades hídricas da cultura da mamoneira irrigada por gotejamento nas condições edafoclimáticas de Mossoró-RN.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA MAMONA

2.1.1 Origem e distribuição geográfica

A origem da mamoneira é objeto de controvérsia para alguns estudiosos, uns afirmam ser o continente asiático o provável centro de origem dessa cultura, ao passo que outros consideram a África intertropical. A hipótese mais provável pressupõe que a mamoneira seja originária do Nordeste da África, possivelmente da antiga Abissínia, hoje Etiópia (HEMERLY, 1981; VEIGA; SAVY FILHO E BANZATTO, 1989; LORENZI, 2000; BELTRÃO et al., 2001; OLSNES, 2004). A dificuldade em se determinar com precisão a origem da mamoneira decorre do fato de sua ampla adaptação às 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).

Cultivada na maioria dos países de clima tropical e subtropical e em algumas regiões de clima temperado, onde apresenta crescimento reduzido (DUKE, 1983), a mamoneira é uma espécie conhecida desde os tempos mais remotos. Suas sementes foram encontradas por arqueólogos em sarcófagos egípcios, e acredita-se que esta civilização já cultivava a mamona a mais de 4.000 anos, para fins medicinais e também para a iluminação, com o óleo extraído de suas sementes (OPLINGER et al., 1997; OLSNES, 2004). De acordo com a EMBRAPA (2007) a mamoneira ocorre naturalmente entre as latitudes 40° Norte e 40° Sul e é cultivada comercialmente em mais de 15 países.

Quanto à introdução desta cultura no Brasil, não existem informações precisas, mas a maioria dos autores acredita que a mamoneira tenha sido introduzida no país pelos portugueses logo após o descobrimento (HEMERLY, 1981; VASCONCELOS, 1990), onde esse vegetal se aclimatou muito bem e hoje é encontrado vegetando em estado subespontâneo em quase todo o território nacional (GONÇALVES; BENDEZÚ E LELES, 1981).

2.1.2 Descrição botânica e aspectos gerais

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) pertence à família *Euphorbiaceae* (Jussieu), a qual contém cerca de 290 gêneros e aproximadamente 7.500 espécies (ANGELY, 1970; RODRIGUES; OLIVEIRA E FONSECA, 2002). Para muitos autores esta é a única espécie do gênero *Ricinus*, sendo, portanto, monoespecífico (ZIMMERMAN, 1958; TÁVORA, 1982; RODRIGUES; OLIVEIRA E FONSECA, 2002; AMARAL, 2003; CARVALHO, 2005). Entretanto, não são raros os relatos na literatura indicando a existência de várias espécies, subespécies e variedades botânicas para este gênero (POPOVA E MOSHKIN, 1986).

O fato de a mamoneira possuir diversos tipos polimórficos, e várias sinonímias científicas tais como: *Ricinus digitatus* Nor.; *Ricinus vulgaris* Mill.; *Ricinus hibridus* Bess; *Ricinus leucocarpus* Bert., além de várias sinonímias vulgares pode por vezes gerar conflitos quanto à existência de uma ou várias espécies para o gênero *Ricinus* (TÁVORA, 1982; LORENZI, 2000).

Os termos *Ricinus* e *communis* derivam do latim e significam, respectivamente, carrapato e comum. Mesmo antes de Linnaeus em sua nomenclatura binária, atribuir este nome para a mamona, os latinos já denominavam a planta de rícinus, em virtude da semelhança de suas sementes com a forma animal, pertencente ao grupo dos ácaros, *Ixodes ricinus* e *Dermacentor occidentalis* (RODRIGUES; OLIVEIRA E FONSECA, 2002).

De acordo com Rodrigues, Oliveira e Fonseca (2002) na classificação de Engler, a mamoneira tem a seguinte posição sistemática: Divisão Angiospermae; Classe Dicotyledoneae; Subclasse Archichlamydeae; Ordem Geraniales; Família Euphorbiaceae; Subfamília Euphorbioideae; Tribo Crotonaeae; Gênero *Ricinus* e Espécie *Ricinus communis* (Linnaeus).

2.1.2.1 Aspectos morfológicos

A mamoneira é uma espécie de elevada complexidade morfológica e fisiológica (BELTRÃO E SILVA, 1999), variando muito em seu habito 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). Esta cultura apresenta habito de crescimento

indeterminado com floração e frutificação contínua e seqüencial ao longo do ciclo fenológico. O caule principal se encerra com o surgimento da primeira inflorescência racemosa, precursora do racemo primário ou principal. Da axila da última folha logo abaixo do racemo primário surgem novos ramos que também são encerrados por racemos e assim sucessivamente vão surgindo novos ramos e ordens de racemos. Havendo disponibilidade de água e nutrientes, a planta cresce continuamente numa disposição simpodial que lhe é característica (BELTRÃO, 2003).

A mamoneira nos trópicos e subtropicais pode se comportar como uma planta semiperene, e atingir altura de até 13 metros e diâmetro do caule de 7,5 a 15 centímetros. Em zonas temperadas é uma planta anual com altura média entre 1 e 3 metros (USDA, 1960; TÁVORA, 1982; DUKE, 1983; BELTRÃO et al., 2001). Sob cultivo apresenta habito de crescimento arbustivo com muitas colorações de caule, folhas e racemos, podendo ainda possuir cera no caule e pecíolo (RODRIGUES; OLIVEIRA E FONSECA, 2002; 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).

A floração tem início em diferentes épocas dependendo do genótipo e das condições ambientais comuns a cada região, e pode se estender durante um longo período, quando os fatores edafoclimáticos forem favoráveis. O habito de crescimento indeterminado favorece esta floração continuada ou seqüencial. Há indícios de que o início da floração também está relacionado com o número de internódios, de modo que quanto menor o número de internódios para a emissão da primeira inflorescência, mais precoce será a planta (KITTOCK E WILLIAMS, 1968; TÁVORA, 1982).

A cultivar “BRS ENERGIA” apresenta as seguintes características agrônômicas: porte baixo, em torno de 1,40m; ciclo entre 120 e 150 dias; caule verde com presença de cera; racemos cônicos com tamanho médio de 60 cm; frutos verdes apresentando cerosidade e indeiscentes; as sementes pesam entre 0,40g e 0,53g com as cores marrom e bege, contendo 48% de óleo; a produtividade média experimental foi de 1.500 kg ha⁻¹, em regime de sequeiro, e densidade populacional de 10.000 plantas por hectare (EMBRAPA, 2007).

2.1.2.2 Sistema radicular

O sistema radicular da mamoneira é do tipo pivotante, 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), em condições de pouca disponibilidade hídrica se desenvolve a grandes profundidades, com as raízes laterais explorando um grande volume de solo. Sob irrigação ou em condições de elevada disponibilidade hídrica o sistema radicular é menos desenvolvido e mais compacto (TÁVORA, 1982).

2.1.2.3 Caule

O caule tem formato cilíndrico, fistoloso e espesso com aspecto nodoso, podendo alcançar em alguns casos, até 30 cm de diâmetro na base. Apresenta variações na cor, presença de cera e rugosidade, os nós são bem definidos, com cicatrizes foliares proeminentes (BELTRÃO et al., 2001; RODRIGUES; OLIVEIRA E FONSECA, 2002). A haste principal cresce verticalmente sem ramificações, até o surgimento da primeira inflorescência. Os ramos laterais se desenvolvem da axila da última folha, logo abaixo do racemo primário (TÁVORA, 1982; BELTRÃO et al., 2001).

Sob condições naturais, a mamoneira pode produzir muitas ramificações laterais que se desenvolvem progressivamente com o avanço do ciclo fenológico. Todavia, tais ramificações são indesejáveis quando a colheita é feita de forma mecanizada. Atualmente existe uma tendência de se trabalhar com cultivares com poucas ramificações e, conseqüentemente, menor número de racemos, para facilitar a colheita mecânica (KOUTROUBAS; PAPAKOSTA E DOITSINIS, 1999).

2.1.2.4 Folhas

As folhas são alternas, apesar de as primeiras, logo acima do nó cotiledonar serem opostas, medem geralmente de 15 a 30 cm podendo alcançar 40 ou até 60 centímetros no

maior comprimento, possuem de 5 a 11 lóbulos e o limbo foliar é arredondado com margens denteadas. Os pecíolos são longos e fistulosos com 20 a 50 cm de comprimento e ao redor de 2 cm de diâmetro. A coloração tanto da folha como do pecíolo acompanha, em geral a do caule, variando do verde ao roxo ou vermelho escura com nervuras em tom mais claro (WEISS, 1971; TÁVORA, 1982; BELTRÃO et al., 2001).

2.1.2.5 Inflorescência

Trata-se de uma planta monóica que embora seja considerada uma planta autógama, a taxa de alogamia pode chegar a 40% com polinização feita pelo vento, sendo que cada flor tem potencial para produzir até 60 mil grãos de pólen (BELTRÃO et al., 2001).

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).

Segundo Severino et al. (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 e 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 muito elevadas, superiores a 40°C provocam aborto das flores, reversão sexual das flores femininas em masculinas e redução do teor de óleo nas sementes. Esta situação não foi verificada neste trabalho, onde a temperatura máxima absoluta diária foi de 35,5 °C.

A proporção de flores masculinas e femininas é bastante variável, sendo que, geralmente, as flores masculinas constituem de 50 a 70%, entretanto, podem ocorrer variações de 0% até 95% de flores masculinas (TÁVORA, 1982).

Sob condições naturais, a mamoneira pode produzir muitas inflorescências, dependendo do número de ramificações laterais que se desenvolvem progressivamente com o avanço do ciclo fenológico (KOUTROUBAS; PAPAKOSTA E DOITSINIS, 1999). Todavia, em se tratando de colheitas mecanizadas, a tendência é trabalhar com cultivares com poucas ramificações que produzam no máximo três ordens de racemos (KOUTROUBAS;

PAPAKOSTA E DOITSINIS, 1999), todavia, em média, são três as ordens de inflorescências mais importantes, denominadas de racemos primários, secundários e terciários, que são expostos a diferentes condições ambientais que influenciam significativamente a participação de cada uma dessas ordens na produtividade total da cultura (USDA, 1960; VIJAYA KUMAR et al., 1997).

2.1.2.6 Infrutescências

Apresentam 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 de racemo considerada. Como ha grande variação na distância entre os frutos no racemo, não existe correlação entre o comprimento e o número de frutos neste, sendo os racemos da ordem primária os maiores de todos e os que possuem a maior quantidade de frutos (TÁVORA, 1982).

Os frutos possuem estruturas semelhantes a espinhos, e em alguns casos, são inermes. Trata-se de cápsulas globosas com cerca de 2,5 cm de diâmetro (SAVY FILHO, 2004). Botanicamente são do tipo baga tricoca, providos de três lojas, cada uma delas com uma semente, podendo ser deiscentes, indeiscentes ou semideiscentes, dependendo da cultivar (DUKE, 1983). São verdes ou vermelhos com colorações intermediárias, assumindo tom amarronzado quando maduros (BELTRÃO et al., 2001).

2.1.2.7 Sementes

Constituídas por tegumento, carúncula, embrião e endosperma, onde está presente o óleo, possuem formato oblongo, ovóide ou arredondado, medindo de 0,5 a 1,5 cm de comprimento, com superfície dorsal arqueada e uma estrutura esponjosa proeminente na sua extremidade, denominada de carúncula. São brilhantes e de coloração muito variada, existindo sementes pretas, brancas, cinzas, e marrons com mosqueados característicos (TÁVORA, 1982; DUKE, 1983; OPLINGER et al., 1997).

Koutroubas, Papakosta e doitsinis (1999) avaliaram diferentes genótipos de mamoneira e verificaram que a massa média de mil sementes variou entre 339 g e 367 g. Para a cultivar “BRS 149 Nordestina” a massa de cem sementes é de 68 g, conforme informações da EMBRAPA (2002). Amaral (2003) preconiza que a massa de mil sementes pode ser classificada em baixa, média e alta, quando os valores forem inferiores a 400 g; entre 400 g e 500 g e superiores a 500 g, respectivamente. Germinam lentamente necessitando de 10 a 21 dias para a emergência das plântulas (OPLINGER et al., 1997).

2.1.3 Aspectos fisiológicos

Segundo Azevedo et al. (2001) e Beltrão et al. (2003), a mamoneira é uma planta de metabolismo fotossintético C3, com elevada taxa de fotorrespiração, sendo considerada uma espécie vegetal ineficiente e pouco competitiva. Contudo, para outros autores a mamoneira é tida como planta de elevada capacidade fotossintética, em especial sob condições adequadas de disponibilidade hídrica, uma vez que o processo fotossintético é sensivelmente afetado quando ocorrem demandas atmosféricas elevadas (DAI; EDWARDS E KU, 1992).

Dai, Edwards e Ku (1992) estudaram os efeitos do déficit de pressão de vapor de água (VPD) sob as características fisiológicas da mamoneira, e verificaram que a assimilação de CO₂ e a condutância estomática foram consideravelmente reduzidas 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 VPD 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. Esses 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.

2.2 REQUERIMENTOS AMBIENTAIS DA MAMONEIRA

Trata-se de uma planta tipicamente tropical, apesar do cultivo ter se intensificado fora dos trópicos. O clima propício é o quente e úmido, necessitando de estações bem definidas, chuvosa na fase inicial de crescimento e seca na época da maturação e colheita dos frutos. Sua produção e rendimento dependem 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; AMORIM NETO E BELTRÃO, 2000; SAVY FILHO, 2004). A altura das plantas também é muito influenciada pelo ambiente (MOSHKIN, 1986; OPLINGER et al., 1997; VIJAYA KUMAR et al., 1997).

2.2.1 Temperatura do ar

De acordo com Beltrão (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 1.000 a 1.500 kg ha⁻¹ de baga 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.

A temperatura ideal para o crescimento e maturação dos frutos é de 25°C, mas pode variar de 20°C a 30°C, ou até 35°C (SILVA, 1981; SILVA; AMORIM NETO E BELTRÃO, 2000; BELTRÃO E CARDOSO, 2006). Temperaturas superiores a 40°C podem provocar aborto de flores, reversão sexual e reduzir substancialmente o teor de óleo nas sementes (BELTRÃO E SILVA, 1999). Por outro lado temperaturas muito baixas retardam a germinação, prolongando a permanência das sementes no solo, favorecendo o ataque de insetos e microorganismos patogênicos. Ademais, temperaturas inferiores a 10°C inibem a produção de sementes, devido à perda da viabilidade do pólen. O frio intenso também promove efeitos maléficos na produção de grãos e reduz o rendimento de óleo, o que torna evidente a preferência da mamona por temperaturas mais elevadas (HEMERLY, 1981; TÁVORA, 1982; OPLINGER et al., 1997).

2.2.2 Altitude

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 (USDA, 1960; WEISS, 1971; WEISS, 1983).

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 Carvalho (2005) a altitude é um fator importante a ser levado em consideração, e recomenda a exploração comercial em áreas com altitudes entre 300 e 1.500 metros, onde teoricamente estaria o ótimo ecológico para a cultura, o que não descarta o seu cultivo em locais de altitudes diferentes das mencionadas. Todavia, para o bom desempenho da mamoneira devem ser evitadas as grandes altitudes, superiores a 1.800 m, que influenciam negativamente no rendimento de sementes (HEMERLY, 1981). Contudo, até o momento não existem muitos trabalhos que tratem deste tema detalhadamente e comprovem cientificamente os reais efeitos da altitude na produtividade da mamoneira.

Severino et al. (2006) avaliaram a produtividade e o teor de óleo de dez genótipos de mamoneira, sob irrigação, em altitude inferior a 300 metros e observaram, produtividades de até 2.583,9 kg ha 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 foi satisfatório, apesar dos cultivos serem realizados em locais de baixa altitude.

2.2.3 Solos

Quanto às exigências edáficas, a cultura da mamona pode ser explorada nas mais distintas classes de solos. Entretanto, devem-se evitar aqueles excessivamente úmidos e com problemas de drenagem, bem como áreas sujeitas a inundações prolongadas no período

chuvoso, pelo fato de a mamoneira ser sensível ao excesso de umidade (TÁVORA, 1982). Portanto, os melhores solos para a sua exploração 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). Vale ressaltar que devido ao rápido crescimento, ocorre uma grande extração de nutrientes do solo, sendo portanto, muito exigente em termos de fertilidade (HEMERLY, 1981).

Para SILVA; AMORIM NETO E BELTRÃO (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.

2.2.4 Fotoperíodo

Considerada por muitos pesquisadores como uma planta heliófila e xerófila, prefere dias longos em termos de fotoperíodo, com tolerância a períodos curtos de estresse hídrico, conseguindo produzir, ainda que de forma reduzida em condições que outras culturas mais sensíveis não sobreviveriam, apresentando-se, portanto, como excelente alternativa de cultivo para o Semi-Árido nordestino (TÁVORA, 1982).

Necessita de pelo menos 12 horas de luz por dia para produzir satisfatoriamente, apesar de se adaptar a diferentes fotoperíodos, mas com reflexos negativos no crescimento e produtividade, pois, com menos de 9 horas de luz por dia, o crescimento e a taxa fotossintética tendem a ser reduzidos (WEISS, 1983; VIJAYA KUMAR et al., 1997; SILVA; AMORIM NETO E BELTRÃO, 2000; BELTRÃO et al., 2003).

De acordo com Vijaya Kumar et al. (1997) umidade e regime fotoperiódico atuam conjuntamente influenciando o rendimento da cultura.

2.3 REQUERIMENTOS HÍDRICOS DA MAMONEIRA

Dentre os recursos que uma planta necessita para crescer e se desenvolver satisfatoriamente, a água é o mais abundante e ao mesmo tempo, o mais limitante para a produção agrícola, motivo pelo qual existe a prática da irrigação, que reconhecidamente aumenta a produtividade das culturas quando realizada de modo eficiente e racional (TAIZ E ZEIGER, 2004).

A água é o melhor e mais abundante solvente que se conhece, sendo a matriz e o meio onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos essenciais a vida, desempenha papel fundamental na vida da planta, correspondendo de 80 a 90% da massa dos tecidos vegetais em crescimento, de modo que mesmo um pequeno desequilíbrio no fluxo de água no interior da planta pode causar déficit hídrico e mau funcionamento de inúmeros processos celulares. Também é fato que durante o estresse por seca as regiões de crescimento do vegetal são severamente afetadas, notadamente nos primeiros estágios do crescimento (HECKENBERGER; ROGGATZ E SCHURR, 1998; TAIZ E ZEIGER, 2004).

De um modo geral, na maioria das culturas, a água constitui fator de máxima importância nas diferentes fases da vida da planta e o seu consumo é variável e proporcional ao desenvolvimento da cultura, atingindo valor máximo na fase de floração e frutificação (MOTA, 1999).

Muitas regiões brasileiras são caracterizadas por apresentar precipitações pluviométricas insuficientes ou mal distribuídas propiciando redução na produção agrícola (PEITER E CHAUDHRY, 1998). De outra forma o regime pluvial anual de determinada região pode ser suficiente para atender plenamente às exigências das culturas, porém, em determinados períodos pode ser insuficiente (EPPERSON; HOOK E MUSTAFÁ, 1993). No nordeste brasileiro normalmente não se encontram condições naturais de precipitação pluvial, com frequência e distribuição suficientes para atender plenamente as necessidades hídricas das plantas, e neste caso, a irrigação como prática agrícola possibilita melhores rendimentos das culturas (BARRETO E AMARAL, 2004). Desse modo, para reduzir os riscos do investimento agrícola, muitos produtores utilizam a irrigação, que manejada racionalmente garante boas produtividades sem flutuações, independente das condições climáticas (EPPERSON; HOOK E MUSTAFÁ, 1993).

Em se tratando dos requerimentos hídricos para a mamoneira, tem-se verificado que em condições de sequeiro a cultura exige pluviosidade entre 500 e 800 mm de água bem

distribuída durante o ciclo cultural, para a obtenção de produtividades em torno de 1.500 kg ha⁻¹. (WEISS, 1983; BELTRÃO E SILVA, 1999). A disponibilidade hídrica no início e durante a fase vegetativa é fundamental para o bom estabelecimento e desempenho da cultura (CARVALHO, 2005). Além disso, a mamoneira requer no mínimo 400 mm de água até o início da floração e cerca de 200 mm no período de enchimento dos frutos (BELTRÃO et al., 2004). Apesar dessas exigências é considerada uma planta de elevada resistência à seca com sensibilidade ao excesso de umidade por períodos prolongados, notadamente, no início do ciclo e na frutificação (HEMERLY, 1981; SILVA, 1981; BELTRÃO, 2001).

De acordo com Távora (1982), a faixa ideal de precipitação para a mamoneira produzir satisfatoriamente situa-se entre 750 mm e 1.500 mm, com um mínimo de 600 mm a 750 mm durante o ciclo cultural e a maior exigência de água no solo ocorre no início da fase vegetativa, produzindo com viabilidade econômica em áreas onde a precipitação pluviométrica mínima até o início da floração esteja entre 400 e 500 mm. Carvalho (2005) afirma que a disponibilidade hídrica no início e durante a fase vegetativa é fundamental para o bom estabelecimento e desempenho da cultura. Para Hemerly (1981) a falta de água no solo, mesmo que na fase de maturação dos frutos, implica em sementes com baixo peso e teor de óleo.

No cultivo da mamoneira, a irregularidade das chuvas em várias regiões produtoras tem prejudicado essa cultura, sendo a maior evidência disso as baixas produtividades obtidas, cerca de 600 kg ha⁻¹ a média mundial e 722 kg ha⁻¹ a média brasileira (SILVA; AMORIM NETO E BELTRÃO, 2000; IBGE, 2006).

Segundo Schurr et al. (2000) o estresse hídrico na mamoneira afeta o seu desenvolvimento e a taxa de assimilação de CO₂, e as plantas estressadas apresentam estrutura foliar alterada e com menor tamanho. Por outro lado o aumento do status hídrico celular é responsável por uma atividade de crescimento mais pronunciada e eficiente.

Barros Júnior et al. (2004) observaram que o déficit hídrico provocado pela escassez de água no solo afetou por igual, o sistema radicular e a parte aérea da planta na medida em que o conteúdo de água no solo foi diminuído, indicando que as plantas de mamona não foram capazes de desenvolver mecanismos de adaptação à seca, como por exemplo, um maior crescimento radicular.

Hikwa e Mugwira (1997) concluíram que a mamoneira produziu em média 137% a mais, com umidade adequada no solo, do que quando cultivada com deficiência hídrica durante a estação seca, e que a produtividade da cultura é altamente influenciada pela

quantidade de água disponível no solo e pela sazonalidade da precipitação pluvial que afetam o número de racemos por planta e consequentemente o rendimento de grãos.

Em condições irrigadas ou sob elevada disponibilidade de umidade, a planta altera seu porte, apresentando crescimento exuberante, retardando o florescimento e a maturação dos frutos (WEISS, 1971).

2.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A estimativa das necessidades hídricas de uma cultura é feita com base nas perdas de água do sistema solo-planta para a atmosfera através dos processos de evaporação e transpiração. O termo usado para descrever o processo total de transferência de água na forma de vapor de superfícies vegetadas para a atmosfera é denominado evapotranspiração.

A evaporação da água é um fenômeno físico que propicia a mudança de estado da água da fase líquida para a gasosa diretamente de uma superfície líquida (mar, lago, rio, etc) ou úmida (planta, solo). Quando esta mudança se dá através das plantas recebe o nome de transpiração. No caso de solos parcialmente vegetados estes processos ocorrem simultânea e interdependentemente, daí a utilização do termo evapotranspiração (BERLATO E MOLION (1981).

De acordo com Allen et al. (2006) o termo evapotranspiração é definido como o resultado da ocorrência simultânea de dois processos naturais de difícil distinção quanto ao vapor de água produzido por ambos: o processo de evaporação da água do solo, e o processo de transpiração das plantas.

Para Curi e Campelo Júnior (2001) as pesquisas sobre evapotranspiração fornecem informações da quantidade de água consumida pelas plantas, fornecendo dados para o manejo da água e para o dimensionamento dos sistemas de irrigação, tendo a FAO, nas últimas décadas, reiteradamente recomendado 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.

A evapotranspiração pode ser determinada ou estimada de diferentes maneiras. De acordo com Miranda et al. (2001), ela pode ser mensurada utilizando métodos diretos ou estimada por meio de informações climáticas. No primeiro grupo, entre outros, estão incluídos

os diferentes tipos de lisímetros e o balanço de água no solo; enquanto no segundo, estão enquadrados os métodos teóricos e empíricos, como os de Penman (1948), Thornthwaite (1948), Blaney & Criddle (1950), Jensen & Haise (1963), Priestley e Taylor (1972), Hargreaves (1977) e evaporímetros como o tanque “Classe A” (Sentelhas, 2003), dentre outros.

Segundo Allen et al. (2006), na ausência de medidas diretas da evapotranspiração, profissionais envolvidos com o tema podem lançar mão de modelos matemáticos, que se baseiam em dados meteorológicos de superfície, para calcular a evapotranspiração de referência, podendo esta ser estimada por equações desde as mais simples, baseadas na temperatura do ar (método de Hargreaves-Samani, 1985), até as mais complexas, que envolvem as componentes do balanço de energia (método de Penman-Monteith_FAO 56).

Thornthwaite (1948) definiu a evapotranspiração potencial (ETp) como a quantidade de água utilizada por uma extensa área vegetada, em crescimento ativo, sob condições ótimas de umidade do solo. A evapotranspiração de referência (ETo) foi definida por Doorenbos e Pruitt (1977) como sendo a água utilizada por uma extensa superfície de grama, em crescimento ativo, com altura de 0,08 a 0,15 m, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água.

A definição da ETo é coincidente com a da ETp proposta por Thornthwaite (1948). Jensen (1973) propôs como cultura referencial a alfafa e definiu como evapotranspiração de referência a que se verifica em uma área sem deficiência hídrica, com bordadura mínima de 100 m plantada com a referida cultura sendo que a alfafa deve apresentar um porte de 30 a 50 cm de altura.

A evapotranspiração real (ETr) é aquela que ocorre em uma superfície vegetada, independente de sua área e das condições de umidade do solo (THORNTHWAITE, 1948; PRUITT et al., 1972; VILLA NOVA E REICHARDT, 1989; PEREIRA, 1992).

Penman (1956) definiu evapotranspiração potencial como “a quantidade de água utilizada na unidade de tempo por uma cultura de porte baixo e verde, cobrindo totalmente a superfície, com altura uniforme e sem deficiência hídrica”. Culturas de porte baixo estão implícitas nesta definição; no entanto, Penman (1956) aplicou esse conceito apenas para gramas de porte baixo. A evapotranspiração de culturas irrigadas pode ser de 10 a 30 % maior do que a ocorrida em superfície gramada.

O conceito de evapotranspiração da cultura (ETc) foi introduzido por Doorenbos & Pruitt (1977), caracterizando-a como sendo a evapotranspiração de uma cultura

agronômica, livre de doenças, desenvolvendo-se em uma área cultivada de um ou mais hectares, sob condições otimizadas de solo, incluindo água e fertilidade.

Jensen et al. (1990) afirmaram que na prática a estimativa da evapotranspiração de uma cultura específica (ET_c) envolve o cálculo da evapotranspiração potencial (ET_p) de uma cultura de referência, aplicando-se, posteriormente, coeficientes de cultivo (K_c). Outras formas de se estimar a evapotranspiração potencial (ET_p) são possíveis, por exemplo, o uso da evaporação de uma superfície livre de água. Contudo, a taxa de evaporação de tanques varia com o tamanho do tanque e com as condições de contorno. O mesmo autor sugere que a E_{T0} pode ser definida como “a taxa com que a água, se disponível, é removida da superfície do solo e das plantas, de uma cultura específica, arbitrariamente chamada de cultura de referência”. A E_{T0} é normalmente expressa como taxa de calor latente por unidade de área ou lâmina de água evaporada. A E_{T0} é equivalente a evapotranspiração potencial com uma especificação adicional de que ela representa a evapotranspiração de uma cultura com umidade do solo ideal e cobertura total da área.

Doorenbos e Pruitt (1977) definem a evapotranspiração da cultura como a transferência de vapor de água para a atmosfera observada em uma cultura isenta de doenças e pragas, desenvolvendo-se em uma área de um hectare ou mais, sob ótimas condições de solo, incluindo umidade e fertilidade.

Allen et al. (2006) definem evapotranspiração da cultura como o requerimento de água necessária para repor a quantidade evapotranspirada por uma cultura livre de doença, em pleno desenvolvimento fisiológico, em um solo sem restrições de umidade e nutriente, alcançando sua produção potencial.

O conhecimento da evapotranspiração da cultura 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. O conceito da evapotranspiração da cultura deixa de ser máximo quando o solo apresenta déficit de umidade, pois nesse ponto, ela torna-se evapotranspiração real da cultura (E_{Tr}) sendo, portanto, menor ou, no máximo, igual à evapotranspiração da cultura (E_{Tc}).

De acordo com Varejão-Silva (2006) evapotranspiração real é a transferência vertical de vapor de água para a atmosfera, por evaporação e transpiração, que se verifica a partir de uma parcela de terreno vegetado, em condições naturais ou de cultivo, irrigado ou não e está condicionada à disponibilidade hídrica do solo em questão.

2.4.1 Variáveis intervenientes

Segundo Varejão-Silva (2006), a transferência vertical de vapor de água para a atmosfera, por evapotranspiração, que se verifica em uma dada parcela de solo vegetado, em condições naturais ou de cultivo, irrigado ou não, depende das condições meteorológicas reinantes, da atividade biológica da vegetação presente e, ainda, da umidade disponível na zona das raízes.

2.4.1.1 Energia disponível

Segundo a teoria cinética dos gases, a passagem da água à fase gasosa se dá como resultado do aumento da energia cinética das moléculas, requerendo, por isso, o dispêndio de certa quantidade de calor (o calor latente de vaporização). Assim, a transição de fase líquido-vapor ou sólido-vapor depende do saldo de energia disponível à superfície e, por conseguinte, de sua temperatura (Varejão-Silva, 2006).

2.4.1.2 Demanda atmosférica

Por outro lado, segundo Varejão-Silva (2006), a difusão do vapor de água produzido na interface superfície-atmosfera está condicionada à pressão parcial do vapor reinante na camada atmosférica vizinha à própria superfície-fonte. Assim, se essa camada estiver saturada, a quantidade das moléculas que abandonam a superfície, passando ao estado gasoso, em certo intervalo de tempo, torna-se igual à quantidade das que retornam ao estado líquido, no mesmo intervalo. Nessas circunstâncias, a difusão virtualmente cessa. Apenas quando a camada atmosférica adjacente não está saturada é que a quantidade das moléculas de água que abandonam a superfície é superior à quantidade das moléculas que a ela voltam.

2.4.1.3 Velocidade do vento

O vento remove o vapor de água produzido, evitando que a atmosfera adjacente se sature. Outro aspecto a considerar é a turbulência, que aumenta com a velocidade do vento, acelerando a difusão vertical do vapor de água gerado na interface superfície-atmosfera. Como consequência desses fatos, o fluxo vertical de vapor de água para a atmosfera está condicionado pelo saldo de energia disponível, pelo teor de umidade reinante na camada de ar justaposta à superfície evaporante e pela velocidade do vento (Varejão-Silva, 2006).

2.4.1.4 Vegetação

Finalmente, quando a superfície é vegetada, o espectro de fatores intervenientes aumenta ainda mais pela introdução de variáveis puramente biológicas, incluindo diferentes respostas fisiológicas. Nesse caso, para uma dada condição atmosférica, a evapotranspiração vai depender da espécie de planta e, para cada espécie, da idade, da fase de desenvolvimento, do índice de área foliar, do estado fitossanitário etc., dos indivíduos presentes, bem como da densidade e da composição da comunidade vegetal como um todo. Como muitos fatores ambientais e biológicos são interdependentes, o estudo da transferência de vapor de água para a atmosfera em superfícies vegetadas torna-se bem mais complexo (Varejão-Silva, 2006).

2.4.1.5 Solo

Para varejão-Silva (2006), mantidas constantes todas as demais variáveis, a taxa evapotranspirométrica aumenta à proporção em que a umidade do solo se aproxima da capacidade de campo, em geral estabilizando-se um pouco abaixo desta. Por outro lado, à medida que a disponibilidade hídrica na zona explorada pelas raízes se aproxima do ponto de murcha permanente, a evapotranspiração tende a zero. Então, a transferência vertical de vapor de água para a atmosfera, por evapotranspiração, que se verifica a partir de uma parcela de terreno vegetado, em condições naturais ou de cultivo, irrigado ou não, está condicionada à disponibilidade hídrica do solo.

No caso da superfície estar representada pelo solo desnudo úmido, as propriedades físicas do solo igualmente interferem no processo evaporativo. Assim, sua coloração é importante, por influir no coeficiente de reflexão (albedo) e, portanto, no balanço de energia, sua rugosidade também o é, por interferir na turbulência.

2.5 COEFICIENTE DE CULTIVO

A evapotranspiração de uma cultura é geralmente calculada a partir da evapotranspiração de referência e do coeficiente de cultivo, ou K_c , sendo que a evapotranspiração de referência representa a evapotranspiração de uma cultura hipotética, crescendo ativamente, sem limitação de água e expressa o poder evaporante da atmosfera em um local e tempo específicos, não considerando as características do solo e da cultura, enquanto que K_c é determinado empiricamente e varia com a cultura, com seu estágio de desenvolvimento, com o clima e práticas agronômicas adotadas.

Segundo Doorenbos e Pruitt (1977) o K_c representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a evapotranspiração da cultura da evapotranspiração de referência:

- ✓ a altura da cultura que afeta a rugosidade e a resistência aerodinâmica;
- ✓ a resistência de superfície relativa ao binômio solo-planta, que é afetado pela área foliar (determinada pelo número de estômatos), pela fração de cobertura do solo com vegetação, pela idade e condições das folhas, e pela umidade no perfil do solo; e
- ✓ pelo albedo da superfície da cultura-solo, que é influenciado pela fração de cobertura do solo, pela vegetação e pelo teor de água na superfície do solo, que influencia o saldo de radiação disponível à superfície, que é a principal fonte de energia para as trocas de calor e de massa no processo de evapotranspiração.

De acordo com Allen et al. (2006), como a E_{Tc} representa um índice climático da demanda evaporativa, o K_c varia, essencialmente, de acordo com as características da cultura, traduzindo em menor escala a variação dos elementos climáticos. Esse fato torna possível a transferência de valores de K_c de um local para outro e de um clima para outro.

O coeficiente de cultura pode variar com a textura e o teor de água do solo, com a profundidade e densidade radicular e com as características fenológicas da planta. Entretanto, o conceito de K_c tem sido usado, extensivamente, para estimar a necessidade real de água de

uma cultura particular por meio de estimativas ou medições de E_{Tc} . Informações locais que relacionam a época de plantio, emergência das plantas até a cobertura efetiva e, finalmente, data de colheita para culturas anuais são extremamente importantes e devem ser consideradas na determinação do K_c .

O Boletim Técnico da FAO, número 24, descrito por Doorenbos e Pruitt (1977) apresenta procedimentos para obtenção do K_c , sendo que para cada estágio de desenvolvimento da cultura, os dados de K_c podem ser obtidos através de uma curva suavizada, denominada de curva de cultura.

Várias pesquisas têm demonstrado que a E_{Tc} não pode ser, simplesmente, estabelecida para todas as situações climáticas com um simples valor de K_c . Os coeficientes de culturas, portanto, devem ser determinados para cada estágio de desenvolvimento da cultura. Allen et al. (2006) apresentaram uma revisão do manual da FAO para determinação das necessidades hídricas das culturas, recomendando a adoção do método de Penman-Monteith como padrão para estimativa da evapotranspiração de referência (E_{To}), apresentando novos valores de coeficientes de cultivo (K_c) para diferentes culturas e propondo um novo método de aproximação dos coeficientes de cultivo, em que apenas três valores de K_c (para os estádios inicial, intermediário e final) seriam utilizados para se traçar um gráfico de variação do K_c ao longo do ciclo da cultura, e, ressaltam que a altura da cultura e algumas condições climáticas do local do cultivo, tais como a velocidade do vento e a umidade relativa do ar, podem alterar a resistência aerodinâmica e, conseqüentemente, o K_c da cultura. Daí a necessidade da realização de experimentos para determinação dos coeficientes de cultivo em âmbito regional.

De acordo com Allen et al. (2006) o coeficiente de cultivo (K_c) pode ser decomposto em dois componentes, a saber:

- ✓ coeficiente basal do cultivo (K_{cb}), relacionado à transpiração da planta;
- ✓ coeficiente da evaporação no solo (K_e), relacionado à evaporação da água da superfície exposta do solo.

Portanto, o novo K_c denominado coeficiente dual de cultivo inclui os efeitos da evaporação da superfície e da transpiração da planta e depende da disponibilidade de água no interior da zona radicular e da umidade na superfície exposta do solo.

De acordo com Allen (2006) a maioria das curvas ou tabelas de K_c são para culturas bem supridas de água, porém, é possível utilizar o novo coeficiente para estimar a E_{Tc} em áreas cujas condições climáticas são similares àquela do local onde um K_c foi determinado, uma vez que este coeficiente é um fator relativo e, em sua formulação,

considera-se que a diferença na necessidade hídrica da planta, devido às condições climáticas, está incorporada na determinação da ETc. O coeficiente pode ser usado, também, em áreas com diferentes características climáticas, caso nos procedimentos de determinação da ETo sejam observadas as informações climáticas específicas do local.

Sediyama, Ribeiro e Leal (1998) citam que, durante o período vegetativo, o valor de Kc varia à medida que a cultura cresce e se desenvolve, do mesmo modo que varia com a fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação à medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação.

Segundo Pereira, Villa Nova e Sediyama (1997) o coeficiente de cultivo representa os valores mínimos de exigência hídrica das plantas. A umidade do solo é, ainda, adequada e não reduz a produtividade da planta. Portanto, esse coeficiente permite um ajustamento dos efeitos da evaporação de uma superfície recentemente umedecida. Os dados de Kc apresentados na literatura podem servir de referencial supondo que na região onde está instalada a cultura, não tenha os dados locais. No entanto, a estimativa de Kc para as condições reais da área onde está implantada a cultura, é desejável devido às variabilidades climáticas e diferentes práticas agrônômicas adotadas em cada região.

Valores experimentais de Kc para a mamoneira e outras culturas são encontrados na literatura, Doorenbos e Pruitt (1977), no entanto, a última publicação da FAO, Boletim 56, Allen et al (2006), atualiza os procedimentos de cálculo de evapotranspiração de referência (ETo), analisa aspectos relacionados à determinação do coeficiente de cultura (Kc) e recomenda procedimentos de avaliação de dados empregados nas estimativas da ETo.

Curi e Campelo Júnior (2004), pesquisando as necessidades hídricas da mamoneira, cultivar Íris, com ciclo de 110 dias, irrigada por aspersão, em Santo Antonio do Leverger-MT, obtiveram Kc médio de 0,72 para todo o ciclo, Kc mínimo de 0,34 na fase de emergência da cultura, Kc máximo de 1,29 no início da fase reprodutiva e Kc de 0,86 na formação e enchimento dos frutos.

DIAS (2008) pesquisando a cultura da mamoneira, cultivar BRS Energia, ciclo de 106 dias, irrigada por aspersão, em Barbalha-CE, obteve os seguintes valores médios de Kc, para as cinco fases fenológicas estudadas: fase inicial (até 10% de cobertura do solo pela cultura): 0,73; inflorescência dos racemos de primeira ordem: 0,92; inflorescência dos racemos de segunda ordem: 1,01; maturação dos racemos de primeira ordem: 1,11; maturação dos racemos de segunda ordem: 0,87.

2.6 BALANÇO HÍDRICO NO SOLO

Segundo Reichardt e Timm (2004) o balanço hídrico é o somatório das quantidades de água que entram e saem de um volume de solo, em determinado intervalo de tempo, durante o ciclo de uma cultura, e, apresenta componentes que contribuem positivamente, aumentando a umidade do solo no volume de controle, ou negativamente, reduzindo a disponibilidade de água no solo, sobretudo na profundidade do sistema radicular efetivo, sendo necessário avaliar a umidade pelo menos na profundidade, ocupada por 95% do sistema radicular ativo.

De acordo com Libardi (1995), o método do balanço hídrico avalia, em determinado período de tempo, os vários processos de fluxo de água no solo através da contabilização da precipitação pluviométrica, da irrigação, da drenagem, da variação no armazenamento de água no solo, do escoamento superficial e da evapotranspiração.

Segundo Reichardt (1990) o balanço hídrico é importante para o acompanhamento da quantidade de água armazenada no solo, e, através do balanço hídrico pode-se estabelecer critérios para a drenagem de um solo, em caso de excesso de água, ou para irrigação, reposição de água em caso de falta.

De acordo com Pereira, Villa Nova e Sediyaama (1997) o volume de controle do solo no qual se pretende realizar o balanço hídrico é determinado pelo conjunto solo-planta-clima. Assim, se o solo for profundo e a demanda atmosférica alta, as raízes se aprofundam na procura de mais água para atender à demanda. Se a demanda for baixa, um volume menor será suficiente. Em solos argilosos, com maior capacidade de retenção de água, as raízes não necessitam se aprofundar tanto quanto em solos arenosos que retêm menor quantidade de água, havendo, portanto, uma compensação natural através do crescimento do sistema radicular para manter certa quantidade de água disponível às plantas.

Segundo Reichardt (1990) através do plano da superfície do solo tem-se a adição de água pela chuva e/ou irrigação e as perdas por evapotranspiração e enxurrada ou deflúvio superficial. No plano à profundidade, que deve estar abaixo da zona radicular, pode-se, ter perdas por drenagem profunda e/ou ganhos por ascensão capilar. A contabilidade de todos estes componentes do balanço reflete a quantidade de água que fica contida na camada de solo, medidas através da variação do armazenamento de água (ΔA_z). Assim, quando as perdas são maiores que os ganhos, ΔA_z diminui e, em caso contrário, ΔA_z aumenta.

Segundo Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) a atmosfera é o agente ativo no processo de uso da umidade e o solo exerce as funções de armazenar e moderar a utilização da água. Portanto, é preciso conhecer as funções físicas do perfil do solo trabalhado. Se o solo for profundo, sem impedimentos à infiltração da água e ao desenvolvimento natural das raízes, a quantidade de água numa aplicação poderá ser maior, pois esse solo desempenhará bem suas funções de armazenador de umidade. Se, no entanto, o solo for raso ou com impedimentos físico ou químico, numa certa profundidade, a quantidade de água disponível será menor, condicionando regas menores e mais frequentes para atender melhor a demanda atmosférica.

Para o conhecimento da dinâmica da água no solo, é de fundamental importância o conhecimento da umidade do solo e dos potenciais da água no solo. A umidade é apenas um índice que quantifica a água que o solo possui, enquanto que os potenciais da água dizem respeito aos diferentes tipos de energia potencial que atuam no sistema e podem dar indicação de como a água se encontra no solo, se parada ou em movimento (LIBARDI, 1995).

A drenagem profunda tem sido determinada por diversos pesquisadores, dentre eles, Reichardt (1978), através da equação de Darcy, que possibilita a determinação do movimento de água no solo. O fluxo de água no solo representa a quantidade de água que passa pela unidade de área de solo e por unidade de tempo.

São diversos os métodos de determinação da umidade do solo, dentre os quais destacam-se a tensiometria, por se tratar de um método simples, no qual são instalados tensiômetros na profundidade do sistema radicular e logo abaixo do mesmo; sonda de nêutrons; TDR (“Time Domain Reflectometry”) ou através do método gravimétrico.

Lopes et al. (2005) determinaram a variação de umidade no solo, através do potencial matricial, por meio de tensiômetros. Os dados foram transformados para umidade volumétrica, utilizando uma curva de retenção obtida pelo modelo de Van Genuchten (1980) para estimativa do balanço hídrico em solo ocupado com a cultura do feijão e concluíram que o manejo por meio da tensiometria proporcionou economia de 15% na água de irrigação aplicada, sem afetar a produtividade em grãos.

2.7 IRRIGAÇÃO DA MAMONEIRA

A irrigação além de suprir as necessidades hídricas das culturas, proporciona ganhos significativos de produtividade, aumento indireto da demanda de mão-de-obra com fixação do homem no campo e diminuição dos riscos do investimento numa agricultura com nível tecnológico mais elevado (BERNARDO; SOARES E MANTOVANI, 2005).

Uma agricultura irrigada eficiente pressupõe a utilização racional da água e do sistema de irrigação com o objetivo de se obter a máxima produção por unidade de água aplicada. Para isso torna-se necessária a adoção de um manejo de irrigação criterioso, que permita um perfeito fornecimento de água durante o crescimento da cultura (ANDRADE JÚNIOR E KLAR, 1996). Entretanto, Lima et al. (2004) salientam que apesar da grande importância da cultura da mamona na atualidade, ainda não foram realizados até o momento estudos com relação à eficiência do uso de água pela cultura.

Na conjuntura atual em que a mamoneira desponta como uma opção para o processo de produção de matéria-prima para o biodiesel, a irrigação pode contribuir, em muito, para o agronegócio da mamona, melhorando a eficiência de uso da terra, e ao mesmo tempo gerando renda no contexto da agricultura familiar e empresarial garantindo empregos e divisas para o país (BARRETO E AMARAL, 2004).

A partir de vários experimentos em outros países, Baranov (1986) confirmou que a mamoneira responde bem a irrigação, com incrementos bastante consideráveis, de até oito vezes a mais que o cultivo em sequeiro.

Dentre as vantagens da irrigação está a possibilidade de se antecipar a época de plantio, para que a colheita seja realizada nos meses mais secos do ano (CURI E CAMPELO JÚNIOR, 2004; CARVALHO, 2005). Esta modalidade de cultivo também favorece a produção de mais racemos por planta, haja vista o aumento do ciclo cultural (KOUTROUBAS; PAPAKOSTA E DOITSINIS, 2000).

Para a cultivar BRS Energia sob irrigação por aspersão, Dias (2008) relata que a altura das plantas foi influenciada significativamente pela lâmina de irrigação, sendo que tanto o déficit quanto o excesso, em relação à demanda hídrica da cultura, proporcionaram redução na altura final das plantas. O autor ainda relata que houve efeito significativo das lâminas de água aplicadas sobre o número médio de racemos por planta, comprimento dos racemos e o número médio de frutos por racemo, que influenciou na produtividade de grãos e conseqüentemente de óleo, havendo aumento linear para essas variáveis com o aumento da

quantidade de água aplicada até o limite do consumo hídrico da cultura, havendo decréscimo com o incremento de lâmina a partir desse limite. Não houve efeito significativo das lâminas aplicadas, para as variáveis massa dos grãos e teor de óleo, revelando que as lâminas de água de irrigação não exerceram influência para estes componentes de produção, e relata que a produtividade de óleo variou significativamente, com as lâminas de irrigação aplicadas, em função da produtividade de grãos.

Sob irrigação localizada, Sousa (2008) relata que a massa média de frutos por racemo diminuiu linearmente com o incremento da lâmina de irrigação aplicada a partir da lâmina correspondente à demanda da cultura, e que o número médio de racemos secundários por planta cresceu linearmente com o incremento da lâmina de irrigação, registrando um acréscimo de 1,4 racemos por planta entre a lâmina de 60% e a lâmina de 140% da ETc.

A irrigação na mamoneira, especialmente em híbridos anões, requer considerável nível de aperfeiçoamento para a obtenção de máximos rendimentos, uma vez que a planta é muito sensível ao excesso de umidade no solo em qualquer estágio do ciclo cultural, e o manejo inadequado da irrigação ao ponto de encharcar a área junto ao colo das plantas, poderá favorecer o surgimento de organismos fitopatogênicos que tornam as plântulas susceptíveis ao tombamento (WEISS, 1971). Outro problema provocado pelo excesso de umidade é a redução substancial do nível de oxigênio no ambiente radicular levando-o a hipoxia, que é tão danosa quanto a escassez de água, devido ao seu efeito negativo na área foliar e, por conseguinte, na produção de fotoassimilados, com reflexos na redução da capacidade produtiva da planta (BELTRÃO et al., 2003).

Segundo Barreto e Amaral (2004) e Dias et al. (2006), durante o fornecimento hídrico devem-se evitar desperdícios de água bem como a saturação do perfil do solo na área de cultivo, pois a destacada resistência da mamoneira à seca contrasta com sua extrema sensibilidade à saturação hídrica do solo. Beltrão et al. (2003) reportam que a cultura é muito prejudicada pelo estresse hídrico independente de sua natureza (falta ou excesso).

Segundo Koutroubas; Papakosta e Doitsinis (2000) a irrigação prolonga o ciclo de vida da mamoneira, aumentando seu porte e a altura de inserção do primeiro racemo, conferindo maior crescimento vegetativo e ainda verificaram que a maturação do racemo primário ocorreu de 2 a 13 dias mais cedo em plantas sob sequeiro do que naquelas submetidas à irrigação. Tais observações estão condizentes com resultados obtidos por Kittock, Williams e Hanway (1967) ao relatarem que o crescimento vegetativo foi marcadamente afetado pela irrigação.

No Brasil já foram registradas produtividades superiores a 6.000 kg ha^{-1} , em áreas irrigadas (BELTRÃO, 2006). Em outro trabalho Beltrão e Silva (1999) afirmam que, com suprimento hídrico adequado, já foram alcançadas produtividades superiores a 5.000 kg ha^{-1} . Segundo Carvalho (2005) foram obtidos rendimentos de até 5.400 kg ha^{-1} em cultivos comerciais na Bahia com a cultivar “BRS 149 Nordestina” utilizando-se a técnica da irrigação.

2.8 COMPONENTES DA PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE

A produtividade da mamoneira também depende de importantes componentes de produção, como o número de racemos por planta, número de frutos por racemo e massa de mil sementes (KOUTROUBAS; PAPAKOSTA E DOITSINIS, 1999).

Godim et al (2004), avaliando o comportamento e produtividade dos materiais CSRN-2 e CSRN-142 sob adensamento populacional variando entre 16 mil e 45 mil plantas ha^{-1} , em condições irrigadas verificaram que o genótipo CSRN-142 apresentou altura média de plantas em torno de 131 cm (porte médio) e produziu 3,3 racemos por planta e obtiveram produtividade de 3.494 kg ha^{-1} , na máxima densidade de plantas. Para o genótipo CSRN-2 obtiveram altura média de plantas em torno de 79 cm (porte anão), produziu 2,3 racemos por planta e produtividade de 1.719 kg ha^{-1} , na densidade de 20.080 plantas por hectare.

Silva et al. (2008 a), estudando o efeito de quatro densidades de plantas (35.460, 39.682, 45.049 e 52.083 plantas ha^{-1}) sobre a produção da cultivar “BRS ENERGIA” constataram que a menor população proporcionou a maior produção dos racemos secundários. Em outro trabalho SILVA et al. (2008 b) não encontraram diferenças entre as populações quanto aos componentes de produção.

Koutroubas; Papakosta e Doitsinis (2000) constataram, em clima mediterrâneo, que o elevado número de racemos por planta e maior quantidade de sementes que também eram mais pesadas e continham maior teor de óleo aumentaram o rendimento da cultura da mamona com valores superiores a 4.049 kg ha^{-1} , em condições de irrigação, quando comparado com cultivo de sequeiro.

Kittock, Williams e Hanway (1967) estudaram o efeito da irrigação e de doses de fertilizantes nos componentes do rendimento da mamoneira, e verificaram que a massa de sementes e o conteúdo de óleo foram inversamente relacionados com a quantidade de água

aplicada, e atribuíram estes resultados ao atraso na maturação dos frutos. Quanto à produtividade não houve diferença estatística entre as doses de fertilizantes e lâminas de água aplicadas.

Laureti et al. (1998) estudando o comportamento de cultivares de mamona em condições irrigadas e sob sequeiro, encontraram maiores valores de produtividade total, rendimento do racemo primário e massa de mil sementes em regime de irrigação. A produtividade máxima obtida foi de 2.080 kg ha⁻¹ de grãos. Também foi observado que no cultivo de sequeiro houve uma menor produção de racemos por planta. O teor de óleo das sementes foi afetado positivamente pela irrigação, tendo sido obtidos valores médios de até 49,3% de óleo na semente.

Para a cultivar “BRS 149 Nordestina” cujo rendimento médio em condições de sequeiro é de 1.500 kg ha⁻¹ (EMBRAPA ALGODÃO, 2002), o uso da irrigação pode ampliar este valor para 3.500 kg ha⁻¹ ou até mesmo 4.500 kg ha⁻¹ (BELTRÃO, 2001).

Segundo Beltrão e Cardoso (2006) a mamoneira tem potencial produtivo de 10.000 kg ha⁻¹ de grãos, e em algumas localidades já foram obtidas produtividades de 8.500 kg ha⁻¹ com cultivares anões em regime de irrigação, o que supera em muito a produtividade média mundial. Tal fato revela necessidade de modernização dos sistemas de cultivo dessa oleaginosa, e neste sentido a irrigação poderá contribuir sobremaneira com o aumento da produtividade.

Almeida Neto (2009) trabalhando com a cultivar BRS Energia irrigada, ciclo de 110 dias e duas densidades populacionais (27.778 e 37.037 plantas por hectare), obteve alturas médias de planta, para a 5^a, 6^a, 7^a e 8^a semanas após a semeadura, respectivamente, de 25,9 cm, 56,85 cm, 97,35 cm e 164,45 cm, para as condições edafoclimáticas de Mossoró-RN. Em Limoeiro do Norte-CE as alturas médias de plantas foram 25,38 cm; 30,73 cm; 46,70 cm; 68,03 cm; 73,55 cm; 86,15 cm e 97,08 cm, correspondentes à 5^a, 6^a, 7^a, 8^a, 9^a, 11^a e 13^a semanas após a semeadura, não havendo diferença estatística entre os valores obtidos para as duas densidades de plantas nas duas localidades.

Para a cultivar BRS Energia, Dias (2008) obteve de 3,0 a 3,5 racemos por planta para um ciclo de 106 dias e Sousa (2008) obteve média de 2,8 racemos por planta na ordem de racemos secundários, para um ciclo de 110 dias. Para a cultivar BRS 149 Nordestina, Souza (2007) registrou variação de 9,74 a 18,74 racemos por planta, sob irrigação suplementar e, 7,55 racemos por planta, para cultivo de sequeiro.

Para a cultivar BRS Energia, Dias (2008) obteve comprimento médio de 36,3 cm e 18,87 cm para o primeiro e segundo racemos respectivamente, com valores máximo e

mínimo de 40,52 cm e 32,4 cm para racemo primário e 22,39 cm e 18,87 cm para a segunda ordem de racemos. Souza (2007), obteve comprimento médio dos racemos para a cultivar BRS Nordestina de 19,04 cm, no cultivo de sequeiro, a 26,35 cm no cultivo com irrigação suplementar.

Para a cultivar BRS Energia, Sousa (2008) relata que obteve médias de 39,1 a 44,8 frutos na primeira ordem de racemos e 18,7 frutos na segunda ordem, em duas densidades de plantio (27.778 e 37.037 plantas por hectare) e massa média 59,0 gramas de frutos por racemo na primeira ordem e 25,6 gramas na segunda ordem. Segundo Dias (2008) o número médio de frutos por racemo variou de 47 a 59 frutos, de acordo com as lâminas de irrigação em ordem crescente de aplicação.

Souza (2007) relata que os racemos secundários foram os que mais contribuíram com a produção total da mamoneira, cultivar BRS 149 Nordestina, 37,87%, e os racemos terciários e primários tiveram a segunda e terceira maior contribuição, respectivamente, 31,42% e 21,07%, e no cultivo de sequeiro ocorreu a maior contribuição dos racemos primários e secundários 31,4% e 47,7%, respectivamente, portanto, nesse caso, os racemos terciários ficaram com a menor contribuição, 20,9% do rendimento total.

Para a cultivar BRS 149 Nordestina, Souza (2007) obteve produtividades médias, em massa de racemos, de 5.326,6 a 12.007,4 kg ha⁻¹, com média de 7.743,5 kg ha⁻¹, para cultivos sob irrigação suplementar, e média de 3.989,0 kg ha⁻¹, para cultivo de sequeiro. A produtividade de grãos variou de 2.199,4 kg ha⁻¹ a 4.251,2 kg ha⁻¹ com média de 2.839,6 kg ha⁻¹, para cultivos sob suplementação hídrica e média de 1.773,4 kg ha⁻¹, para cultivo de sequeiro.

Para a cultivar BRS Energia, Sousa (2008) obteve produtividade total de 3.852,3 kg ha⁻¹ de frutos, com 1.741,2 kg ha⁻¹ de frutos nos racemos principais e 2.067,0 kg ha⁻¹ nos racemos secundários, e produtividade total de 2.579,5 kg ha⁻¹ de grãos, com 1.183,0 kg ha⁻¹ de grãos nos racemos principais e 1.362,2 kg ha⁻¹ nos racemos secundários, para lâmina de irrigação de 100% da ET_C. Dias (2008) obteve produtividade de grãos de 3.361 kg ha⁻¹ e 3.245,8 kg ha⁻¹, respectivamente nos anos 2005 e 2006.

Para a cultivar BRS Nordestina, Souza (2007) relata que o rendimento relativo de grãos ou percentagem de debulha, foi influenciado significativamente pela época de plantio e regime de suprimento hídrico, quando foi obtido rendimento médio de 61% de grãos com máximo de 67%. Ainda segundo este autor, os tratamentos que receberam suplementação hídrica apenas no início do ciclo, isto é, antes do período chuvoso, bem como, aquele implantado em condições de sequeiro, tiveram os maiores rendimentos percentuais de grãos,

apesar dos menores rendimentos absolutos, e suas médias não diferiram estatisticamente entre si. Enquanto, os tratamentos, que receberam suplementação hídrica antes e depois do período chuvoso, tiveram os menores rendimentos relativos de grãos, mesmo com as maiores produtividades em quilos por hectare.

Para a cultivar BRS Energia, Dias (2008) obteve valores médios de massa de 100 grãos, variando de 34,7 a 35,4 gramas, no ano de 2005 para cinco lâminas de irrigação e no ano de 2006 de 34,3 a 36 gramas, para quatro lâminas de irrigação. Sousa (2008), comparando duas densidades de plantio, 27.778 e 37.037 plantas por hectare, não encontrou diferença significativa para a massa de 100 grãos da cultivar BRS Energia, das duas primeiras ordens de racemo. O autor ainda relata que foram obtidas médias de 30,5 e 25,4 gramas para a primeira e segunda ordem de racemo, respectivamente, nas duas densidades de plantio. Também não foram encontradas diferenças significativas, para massa de 100 grãos, quando comparadas lâminas de irrigação (60%, 80%, 100%, 120% e 140% da ETc.)

Souza (2007) pesquisando a cultivar BRS 149 Nordestina, verificou que o tipo de manejo causou alteração na massa de 100 grãos dos racemos primários que variou entre 54,3 e 63,4 gramas, com média de 59,4 gramas nos 8 tratamentos aplicados. Já para os racemos secundários, média de 65,7 gramas e terciários, média de 65,1 gramas, os manejos aplicados não promoveram alterações significativas na massa dos grãos. Com relação às ordens de racemo dentro de cada manejo, o autor observou que as médias dos racemos secundários e terciários não diferiram estatisticamente entre si, mas superaram a massa de grãos dos racemos primários em todos os tratamentos. O autor ainda relata que as condições ambientais predominantes no período de frutificação, bem como características da própria planta, podem ser as causas mais prováveis para a menor massa de grãos dos racemos primários. Lins, Távora e Alves (1976) também observaram menor massa de grãos nos racemos primários das cultivares “Paraibana” e “Sipeal-1”.

Freire et al. (2006) afirma que a maioria das cultivares plantadas comercialmente no Brasil possui teor de óleo variando entre 45% e 50%. Dias (2008) afirma que o teor de óleo dos grãos provenientes dos racemos primários variou de 48,9% a 50,7, em dois anos consecutivos de estudos, 2005 e 2006, para a cultivar BRS energia. Souza (2007) constatou, para a cultivar BRS 149 Nordestina, que o manejo cultural, bem como a interação entre manejo e ordem de racemo não influenciaram significativamente o teor de óleo dos grãos, entretanto tal característica variou com a ordem do racemo na planta e que os maiores teores de óleo foram verificados nos grãos provenientes dos racemos secundários e terciários, 46,6% e 47,0%, respectivamente, que foram superiores, estatisticamente, ao teor de óleo dos grãos

provenientes dos racemos primários, 44,9%, não havendo diferença estatística entre os teores de óleo dos grãos provenientes dos racemos secundários e terciários.

Para Souza (2007), o rendimento de óleo da mamoneira depende grandemente da produtividade de grãos, sendo que maiores produtividades implicam em elevados rendimentos de óleo, havendo correlação positiva e significativa entre estas duas características. Esse autor registrou variação de 840 kg ha⁻¹ de óleo, para cultivo de sequeiro, a 1.962 kg ha⁻¹ para cultivo sob irrigação suplementar para a cultivar BRS 149 Nordestina. Dias (2008) relata que o rendimento de óleo variou 1.667 kg ha⁻¹ 1.347 kg ha⁻¹, variação essa devida à variação da produtividade de grãos em função da lâmina de irrigação.

2.9 USOS E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Do ponto de vista agrícola, toda a planta pode ser aproveitada. Os restos culturais podem ser incorporados ao solo, as folhas usadas como alimentação do bicho da seda, do seu caule pode-se extrair fibras para confecção de tecidos grosseiros, a torta pode ser utilizada como adubo orgânico, e se passada por um processo de desintoxicação pode ser utilizada na alimentação animal (AZEVEDO et al., 2001).

O óleo extraído dos grãos da mamoneira é uma matéria prima de aplicações únicas na indústria química devido a características peculiares de sua molécula que lhe fazem o único óleo vegetal naturalmente hidroxilado, além de uma composição com predominância de um único ácido graxo, o ricinoléico, o qual lhe confere propriedades químicas atípicas (AZEVEDO et al., 1997).

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; BENDEZÚ E LELES, 1981; AZZINI et al., 1984; KHALIL, 2003). Suas folhas podem ser adicionadas à alimentação de bovinos, se desintoxicadas, 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). Cabe lembrar que 30% e 40% dos frutos são cascas que estimativamente podem atingir até 2.000 kg ha⁻¹, com possibilidade de serem utilizadas como adubo orgânico (FREIRE, 2001; KHALIL, 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).

Do ponto de vista industrial, o óleo 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).

Santos e Kouri (2006) ressaltam que no mercado internacional o óleo é o principal produto comercializado, sendo consumido em todos os países do mundo, e em maior escala nos mais industrializados, a indústria ricinoquímica é a maior consumidora. A singularidade do óleo de mamona dá-se em virtude de sua composição quase que exclusiva, cerca de 90%, do ácido graxo ricinoléico, que lhe confere inúmeras aplicações, inclusive como fonte alternativa de combustível na fabricação de biodiesel, o que reveste a cultura de grande importância econômica, estratégica e ambiental (FREIRE, 2001; LANGE et al. 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido entre 12 de novembro de 2007 e 16 de fevereiro de 2008, na Estação Experimental da Fazenda Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, localizada na comunidade Alagoinha, município de Mossoró-RN, com coordenadas geográficas: 5° 03' 40''S; 37° 23' 51'' W Grw, e 72m ,

distante 20 km da sede do município (Figura 1). O município de Mossoró está localizado geograficamente na região oeste do Estado de Rio Grande do Norte.

A parcela experimental foi constituída de uma área de 0,7344 ha, cultivada com mamona (*Ricinus communis* L.). A cultivar utilizada foi a BRS Energia (EMBRAPA, 2007), Figura 4, cujas características são apresentadas na Tabela 4. A configuração de plantio foi de fileiras duplas com espaçamento de 0,4 metros entre plantas, 0,3 metros entre fileiras simples e 1,8 metros entre fileiras duplas. A área foi irrigada através de um sistema de irrigação localizado, por gotejamento, constando de 48 linhas laterais, uma linha lateral para cada fileira dupla de plantio, com comprimento de 85 metros e emissores espaçados de 0,3 metros, operando a uma pressão de 100 kPa, vazão de 1,4 L h⁻¹ e eficiência de irrigação de 91%, Figura 5. A água de irrigação foi proveniente de poço profundo com condutividade elétrica de 0,6 dS m⁻¹.

A semeadura foi feita entre os dias 12 e 16 de novembro de 2007, semeando-se três sementes por cova, e entre 15 e 20 dias após a emergência das plântulas procedeu-se ao desbaste cortando-se as plantas rente ao solo com tesoura, permanecendo apenas uma planta por cova, resultando numa população de 27.778 plantas por hectare.



Figura 1. Estação experimental da fazenda Rafael Fernandes, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN.

3.1.1 Clima

A classificação climática da região segundo Koeppen é do tipo BSw^h, seco e muito quente, com uma estação seca, que vai geralmente de junho a janeiro, e uma estação chuvosa que vai de fevereiro a maio. Segundo Thornthwaite o clima da região é DdAa' Semi-Árido com pouco ou nenhum excesso de água durante o ano (CARMO FILHO E OLIVEIRA, 1995).

Os valores médios dos dados climatológicos (temperatura e umidade relativa do ar, médias, mínimas e máximas, e radiação global acumulada) obtidos da estação climatológica INMET de Mossoró durante o experimento são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados climáticos de Mossoró no período de 10/11/2007 a 16/02/2008

Temperatura do ar (médias) (°C)			Umidade relativa do ar (médias) (%)			Radiação global (Mj m ⁻²)
mínimas	Médias	máximas	mínimas	médias	máximas	Acumulada
23,7	27,9	33,6	41,0	66,9	83,9	2.369,6

Dados obtidos na estação climatológica do INMET de Mossoró - RN

3.1.2 Características químicas e físico-hídricas do solo

O solo da área experimental foi classificado conforme EMBRAPA SOLOS (1999) como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico argissólico, de textura franco-arenosa.

Antes do plantio foram coletadas amostras de solo na área experimental para determinar as características químicas e físico-hídricas do mesmo. As análises químicas foram realizadas em amostras coletadas na profundidade de 0 a 20 cm no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFERSA. As análises físicas foram realizadas em amostras obtidas nas profundidades de 0-20; 20-35; 35-50 e 50-65 cm no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal do Semi-Árido, usando-se procedimentos descritos pela EMBRAPA (1999). Os resultados dessas análises são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Granulometria média do solo da área experimental, densidade global e resultados da análise de fertilidade do solo. Mossoró-RN, 2007.

Prof. (cm)	Granulometria (g kg ⁻¹)					Densidade (g cm ⁻³)	
	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila		
0 a 20	917,17	610,50	306,67	47,13	35,70	1,71	
20 a 35	841,83	563,83	278,00	54,23	103,93	1,73	
35 a 50	762,00	506,50	255,50	111,60	126,40	1,68	
50 a 65	702,83	482,33	220,50	138,30	158,87	1,63	
Prof. (cm)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	K ⁺	Na ⁺	P
	cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³
0 a 20	6,0	1,80	0,70	0,05	0,12	0,18	11

Foram determinadas curvas de retenção de água no solo para as camadas de 0 a 20; 20 a 35; 35 a 50 e 50 a 65 cm, Figura 2. As medidas foram feitas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Ciências Ambientais da UFERSA, utilizando-se mesa de tensão e amostras indeformadas coletadas em anéis de 5 cm de diâmetro e 3 cm de altura para as tensões de 10 a 50 cmca e, para as tensões de 100 a 5.000 cmca, extrator de Richards equipado com placas de cerâmica, com amostras de solo deformadas.

As amostras indeformadas foram coletadas em 3 trincheiras abertas em locais representativos da área experimental com 3 repetições em cada camada de solo, totalizando 36 amostras. As amostras deformadas foram coletadas nos mesmos locais que as indeformadas retirando-se fatias de solo representativas de cada camada do perfil do solo, totalizando 12 amostras que foram secas ao ar e peneiradas conforme recomendações da EMBRAPA (1999).

Os parâmetros da equação de Van Genuchten (1980), equação 1, que descrevem as curvas de retenção de água no solo, para as quatro profundidades, foram obtidos de acordo com Dourado Neto et al. (1995), e encontram-se na Tabela 3, sendo que para a profundidade z=50 os valores obtidos para cada parâmetro, assim como, para K_s, correspondem às médias dos valores obtidos para as profundidades 35-50 e 50-65.

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (1)$$

em que:

h é o módulo do potencial mátrico (cmca);

θ_s é a umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_r é a umidade residual, a qual corresponde um valor extrapolado pelo ajuste ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

α , m e n são parâmetros ajustados pelo modelo que dependem da forma da curva de retenção.

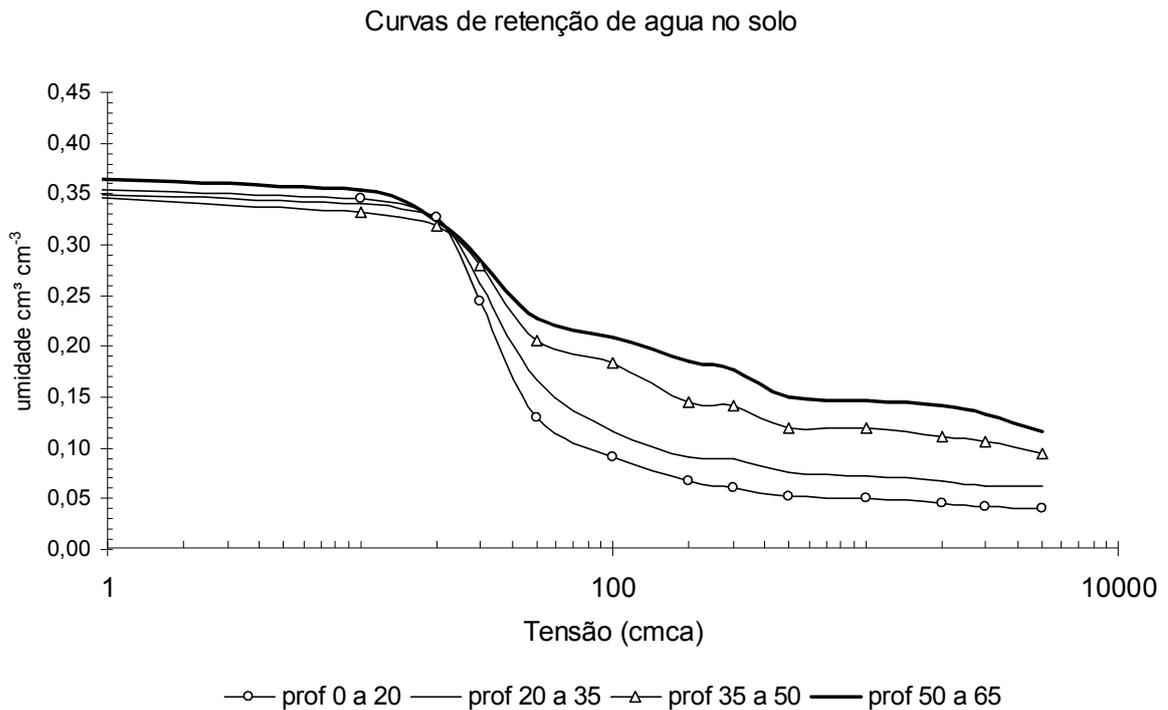


Figura 2. Curvas de retenção de água observadas no solo da área experimental para as camadas de 0 a 20; 20 a 35; 35 a 50 e 50 a 65 cm de profundidade. Mossoró-RN, 2008.

A condutividade hidráulica no solo saturado (K_s) foi determinada para as camadas de 0 a 20; 20 a 35; 35 a 50 e 50 a 65 cm, no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Ciências Ambientais da UFERSA, através do método do permeâmetro de carga constante utilizando-se amostras de solo indeformadas, Tabela 3. As amostras foram conseguidas através de cilindros amostradores do tipo Uhland em 3 trincheiras abertas em locais representativos da área experimental com 3 repetições em cada camada de solo, totalizando 36 amostras. Foram considerados para efeito de cálculo os resultados médios de cada camada de solo nas 3 trincheiras.

A condutividade hidráulica do solo não saturado em função do módulo do potencial mátrico ($K(h)$) foi estimada pela equação (2), segundo parametrização de Van Genuchten (1980) modificada por Mualen, a partir dos dados de condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) nas quatro profundidades. A Figura 3 mostra a curva de condutividade

hidráulica ajustada para a profundidade de 50 cm, pela média dos parâmetros deduzidos para as camadas de 35 a 50 e 50 a 65 cm.

$$K(h) = K_s \frac{\left\{1 - (\alpha h)^{n-1} [1 + (\alpha h)^n]^m\right\}^2}{[1 + (\alpha h)^n]^{\frac{m}{2}}} \quad (2)$$

em que:

K_s é a condutividade hidráulica saturada e os demais termos são definidos na equação 1.

Tabela 3. Parâmetros para determinação da curva de retenção de água do solo e condutividade hidráulica do solo saturado. Mossoró-RN, 2007.

Profundidade	Parâmetros da equação de Van Genuchten (1980)*					K_s^{**} (cm min ⁻¹)
	A	m	N	θ_r	θ_s	
0-20	0,0358	0,6243	2,6614	0,040	0,373	0,200
20-35	0,0376	0,5608	2,2771	0,061	0,374	0,170
35-50	0,0590	0,3847	1,6252	0,086	0,383	0,060
50-65	0,0704	0,3147	1,4592	0,096	0,387	0,010
(z=50)	0,0647	0,3497	1,5422	0,091	0,385	0,0367

* Modelo: $\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha h)^n]^m}$

** Determinada através do método do permeâmetro de carga constante e amostras de solo indeformadas.

Condutividade hidráulica do solo

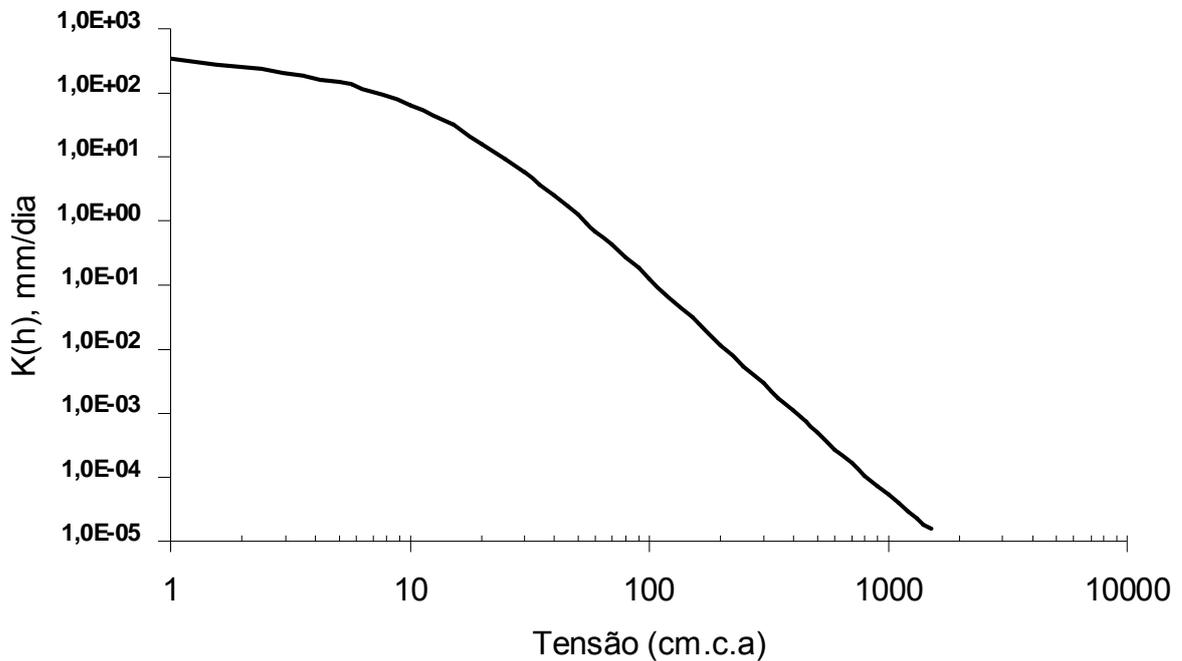


Figura 3. Curva ajustada da condutividade hidráulica do solo cultivado com mamona, cultivar BRS Energia, para a profundidade de 50 cm. Mossoró-RN, 2008.

3.2 PLANTIO E TRATOS CULTURAIS

A parcela experimental foi constituída de uma área de 0,7344 ha, cultivada com mamona (*Ricinus communis* L.). A cultivar utilizada foi a BRS Energia (EMBRAPA, 2007), Figura 4, cujas características são apresentadas na Tabela 4. A configuração de plantio foi de fileiras duplas com espaçamento de 0,4 metros entre plantas, 0,3 metros entre fileiras simples e 1,8 metros entre fileiras duplas.

Antes do plantio, o solo foi preparado com uma aração e uma gradagem niveladora. O plantio foi feito semeando-se três sementes por cova entre os dias 12 e 16 de novembro de 2007. Entre 22 e 27 dias após a semeadura procedeu-se ao desbaste cortando-se as plantas rente ao solo com tesoura, permanecendo apenas uma planta por cova, resultando numa população de 27.778 plantas por hectare.



Figura 4. Sementes da cultivar BRS Energia, sementeira e gabarito indicando a posição de deposição das sementes em relação à linha lateral de irrigação. Mossoró-RN, 2007

Tabela 4. Principais características da mamoneira, cultivar BRS Energia (EMBRAPA, 2007)

Características	Medidas	Características	Medidas
Ciclo (dias)	Média de 120	Racemos/planta	De 2 a 3 (até 8)
Produtividade (kg ha ⁻¹)	1.800 (sequeiro)	Comp. racemo (cm)	Média de 60
Florescimento (DAE)	30 (1º racemo)	Formato racemo	Cônico
Altura da planta (cm)	Média de 140	Frutos/racemo	Média de 100
Coloração do caule	Verde	Tipo de frutos	Indeiscentes
Cerosidade no caule	Presente	Coloração grãos	Bege e marrom
Comprimento folhas (cm)	De 45 a 55	Aspecto dos grãos	Rajados
Coloração das folhas	Verde	Massa 100 grãos (g)	De 50 a 55
Nervuras das folhas	Esverdeadas	Teor de óleo grãos (%)	Média de 48

Fonte: EMBRAPA (2007)

O controle de plantas invasoras foi feito manualmente com capinas a enxada mantendo-se a cultura livre de competição com plantas daninhas durante todo o ciclo, especialmente nos primeiros 60 dias após a sementeira. Não houve necessidade de controle fitossanitário durante a condução do experimento.

3.3 ADUBAÇÃO UTILIZADA

A recomendação de adubação foi feita de acordo com os resultados da análise química do solo, Tabela 2, e exigências nutricionais da cultura. A adubação de fundação foi realizada na linha de plantio e incorporada ao solo manualmente, com 249,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 98,0 kg ha⁻¹ de K₂O e a adubação em cobertura, realizada por fertirrigação a partir da segunda e até a décima primeira semana após a semeadura (SAS), com 156,7 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 54,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 122,5 kg ha⁻¹ de K₂O, totalizando 156,7 kg ha⁻¹ de N, 304,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 220,6 kg ha⁻¹ de K₂O. Na Tabela 5 constam as fontes de nutrientes e respectivas dosagens utilizadas durante o ciclo da cultura.

Tabela 5. Fontes de nutrientes e dosagens utilizadas na adubação da mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró-RN, 2007/08.

Semana	Adubos utilizados na fundação e fertirrigação (kg ha ⁻¹)					
	KCl*	MAP*	Ácido fosfórico**	Acido Nítrico**	CaNO ₃ *	Uréia*
Fundação	120,0	300,0	-	-	-	-
2 ^a	15,0		12,3	7,1		24,0
3 ^a	18,0		24,7	8,5		28,8
4 ^a	12,0		12,3	8,5		28,8
5 ^a	12,0		12,3	8,5	2,9	27,8
6 ^a	15,0		12,3	7,1	2,4	23,2
7 ^a	18,0		3,5	7,1	2,4	23,2
8 ^a	18,0			7,1	2,4	23,2
9 ^a	18,0			5,7	1,9	18,5
10 ^a	18,0			5,7	1,9	18,5
11 ^a	6,0			5,7	1,9	18,5
Fertirrigação	150,0		77,4	71,0	15,8	234,5

* Adubo sólido, dosagem em quilogramas; ** Adubo líquido, dosagem em litros

3.4 IRRIGAÇÃO

3.4.1 Descrição do sistema de irrigação

A área experimental foi irrigada através de um sistema de irrigação localizado, por gotejamento, constando de 48 linhas laterais, uma linha lateral para cada fileira dupla de plantio, com comprimento de 85 metros e emissores espaçados de 0,3 metros, operando a uma pressão de 100 kPa, vazão de $1,4 \text{ L h}^{-1}$ e eficiência de irrigação de 91%, Figura 5. A água de irrigação foi proveniente de poço profundo com condutividade elétrica de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$.



Figura 5. Configuração do sistema de irrigação utilizado, mostrando linhas de distribuição, laterais e emissores. Mossoró-RN, 2007/08.

O cabeçal de controle do sistema de irrigação utilizado foi composto por uma eletrobomba com potência de 2,0 cv, de um filtro de disco e por um manômetro para verificação da pressão de funcionamento do sistema e sistema de injeção de fertilizante. A tubulação principal e a linha de distribuição de água foram compostas de tubos de diâmetro nominal de 50 milímetros e as linhas laterais de irrigação de mangueiras gotejadoras de 16 milímetros de diâmetro.

3.4.2 Manejo da irrigação

Os cálculos do suprimento hídrico diário da cultura foram viabilizados através de uma planilha desenvolvida a partir do modelo padrão FAO Penman-Monteith, equação (3), para determinação da evapotranspiração de referência (ET_0) diariamente, utilizando-se dados climáticos obtidos pela estação climatológica INMET de Mossoró, instalada a 20 km de distancia da área experimental, e K_c s diários obtidos a partir das equações 4, 5 e 6.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} v_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34v_2)} \quad (3)$$

em que:

ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm.d⁻¹);

T é a temperatura média do ar (°C);

v_2 é a velocidade média diária do vento a 2m acima da superfície (m.s⁻¹);

$(e_s - e_a)$ é o déficit de pressão do vapor de água (kPa);

Δ é a declinação da curva de saturação do vapor de água (kPa °C⁻¹);

γ é a constante psicrométrica (kPa °C⁻¹);

900 é um fator de conversão.

Durante o período de irrigação da cultura foram utilizados coeficientes de cultivo (K_c) calculados diariamente, equação (4), a partir da determinação do coeficiente basal de cultivo (K_{cb}), equação (5), e do coeficiente da evaporação no solo (K_e), equação (6), segundo Allen et al. (2006), em planilha eletrônica desenvolvida para esse fim.

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (4)$$

em que:

K_c é o coeficiente de cultivo;

K_{cb} é o coeficiente basal do cultivo; e

K_e é o coeficiente da evaporação no solo.

$$K_{cb} = K_{cb(tab)} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (5)$$

em que:

K_{cb (tab)}, o valor **K_{cb}** médio e **K_{cb}** final tabelado (se $\geq 0,45$);

u₂, a velocidade média diária do vento a 2 metros de altura, durante a fase média ou final do ciclo da cultura, $1 \text{ m s}^{-1} \leq u_2 \leq 6 \text{ m s}^{-1}$ (m s^{-1});

UR_{min}, o valor médio da umidade relativa mínima diária do ar durante as fases média ou final do ciclo cultural, para $20\% \leq UR_{\min} \leq 80\%$ (%) e

h, a altura média das plantas nas fases média ou final do ciclo (tabelado) quando $20\% \leq UR_{\min} \leq 80\%$ (%) (m).

$$K_e = K_r (K_{c \max} - K_{cb}) \leq f_{ew} K_{c \max} \quad (6)$$

em que:

K_{c max}, o valor máximo de **K_c** após a irrigação ou chuva;

K_r, coeficiente de redução da evaporação, dependente da lâmina acumulada de água evaporada da superfície do solo; e

f_{ew} é a fração do solo que se encontra simultaneamente úmido e exposto.

A evapotranspiração da cultura foi estimada diariamente pela equação (7) a partir dos valores de **ET₀** e **K_c**.

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad (7)$$

Na Tabela 6 constam os valores semanais acumulados de **ET₀** e **ET_c** e os valores médios semanais de **K_c** estimados pelas equações 3, 7 e 4, respectivamente, referentes ao período em que a cultura foi irrigada. Na Tabela 6, constam também os valores referentes à precipitação pluviométrica no período, lâmina de irrigação realmente aplicada e lâmina total de água disponibilizada à cultura.

Tabela 6. Valores semanais de ET_0 , K_c e ET_c estimados e suprimento hídrico durante o ciclo da cultura da mamona, cultivar BRS energia. Mossoró-RN, 2007/08.

SAS*	ET_0 (mm)	K_c	ET_c (mm)	Suprimento hídrico durante o ciclo da cultura (mm)			
				P	Pe	Li	Lt
1	45,14	0,34	15,57	-	-	38,33	38,33
2	45,51	0,38	17,08	-	-	35,78	35,78
3	45,68	0,39	17,63	-	-	35,78	35,78
4	45,67	0,51	23,65	42	10	25,78	35,78
5	50,23	0,70	35,06	-	-	35,78	35,78
6	49,60	0,90	44,71	-	-	26,62	26,62
7	46,68	1,06	49,57	-	-	27,39	27,39
8	49,70	1,11	55,01	-	-	48,00	48,00
9	46,36	1,10	51,12	-	-	58,56	58,56
10	41,75	1,08	45,02	32,50	15,00	33,99	48,99
11	41,07	1,04	42,75	2,50	1,25	45,49	46,74
12	44,26	0,91	40,22	127,50	10,00	25,26	35,26
13	48,97	0,79	38,70	-	-	38,93	38,93
14	28,65	0,62	17,72	-	-	17,72	17,72
Total	629,26		493,80	204,50	36,25	493,41	529,65

*SAS: semana após semeadura; P: precipitação pluviométrica acumulada na semana; Pe precipitação efetiva acumulada na semana; Li: lâmina de irrigação; Lt: lâmina total (Li+Pe)

Nos dias em que ocorreram chuvas determinou-se a fração correspondente à precipitação efetiva pela equação abaixo e o valor resultante foi subtraído da lâmina do dia seguinte.

$$Pe = \begin{cases} P/2, & \text{se } 1 < P \leq 20 \text{ mm} \\ 10, & \text{se } P > 20 \text{ mm} \end{cases} \quad (8)$$

em que:

P: precipitação pluviométrica;

Pe: precipitação efetiva.

Dessa forma, a precipitação efetiva foi assumida como 50% da precipitação pluviométrica real até o máximo de 10 mm por dia, perfazendo um total de 36,25 mm no período considerado quando a precipitação pluviométrica real foi 204,50 mm, ocorrendo especificamente entre a 10ª e 12ª SAS. O suprimento hídrico total da cultura no período (lâmina de irrigação + precipitação efetiva) foi correspondente a uma lâmina de 529,65 mm.

Durante as 5 primeiras semanas após a semeadura a irrigação da cultura foi feita em excesso, com relação à ET_c estimada (Tabela 6), com o objetivo de promover o alargamento da faixa molhada ao longo das linhas laterais de irrigação visando viabilizar a

germinação das sementes e emergência das plântulas por se tratar de solo arenoso. A cultura foi irrigada diariamente até 95 dias após a semeadura (DAS), 88 dias após o início da emergência (DAE).

A umidade do solo foi monitorada através de cinco baterias de tensiômetros, localizadas em cinco pontos representativos da área experimental, composta cada uma por seis tensiômetros, às profundidades de 0,20; 0,40 e 0,60 metros (dois tensiômetros por profundidade por bateria), sendo estes localizados entre as plantas nas linhas de plantio a 0,15 metros de distância em relação aos emissores, num total de 30 tensiômetros (Figura 6).

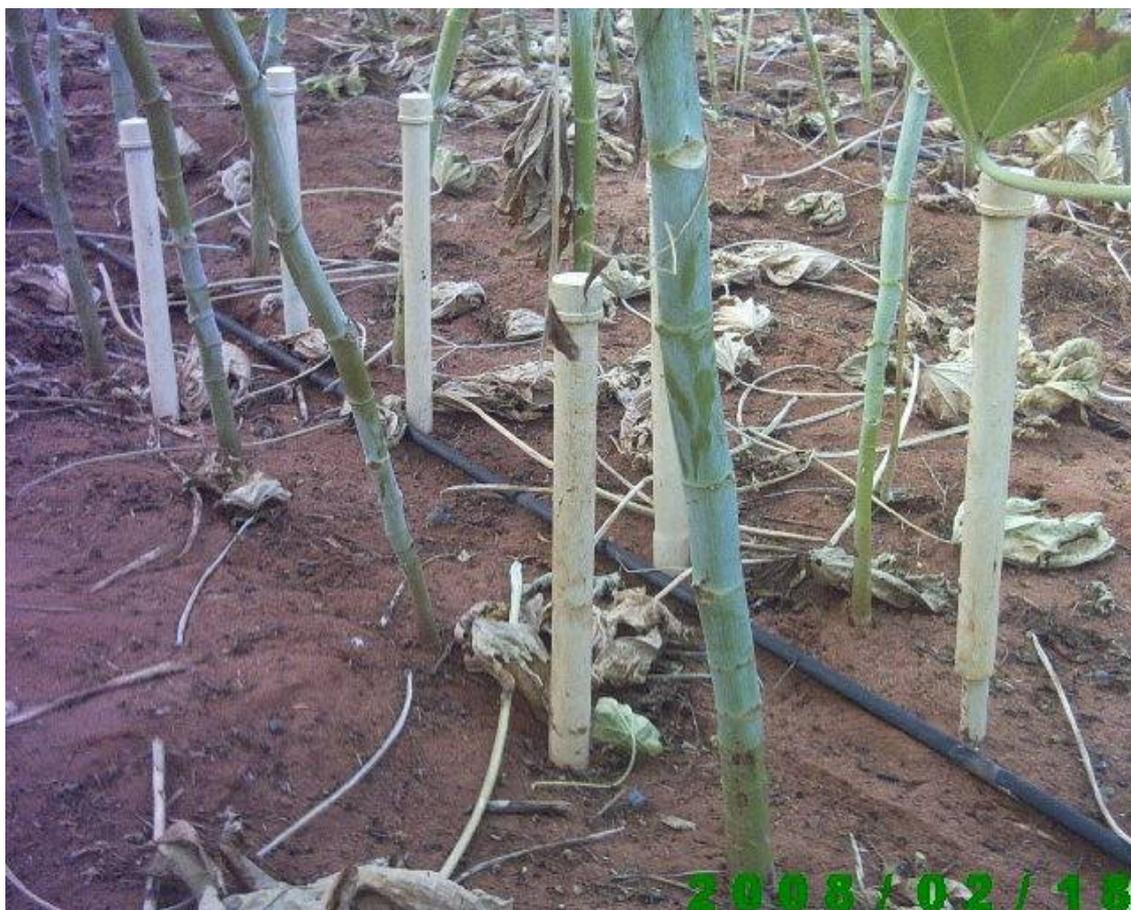


Figura 6. Localização dos tensiômetros em cada bateria para monitoramento da umidade do solo. Mossoró-RN, 2007/08.

3.4.3 Balanço hídrico do solo

O somatório das quantidades de água que entraram e saíram dos cinco volumes de controle do solo (cinco baterias de tensiômetros), na profundidade de 0-50 cm, assumida como profundidade efetiva do sistema radicular, foi realizado tomando como referência a

equação 9, proposta por Reichardt e Timm (2004), permitindo, desta forma, a determinação da evapotranspiração da cultura (ETc).

$$P + I \pm D_s - ET \pm Q_z \pm \Delta A_z = 0 \quad (9)$$

em que:

P = precipitação pluviométrica (mm);

I = irrigação (mm);

D_s = deflúvio superficial (mm);

ET = evapotranspiração (mm);

Q_z = fluxo vertical (ascensão capilar ou drenagem profunda) (mm);

ΔA_z = variação no armazenamento da água no solo (mm).

As lâminas de irrigação aplicadas e a precipitação pluviométrica no período considerado constam na Tabela 6. O escoamento superficial (D_s) foi desprezado, pois a cultura foi irrigada por gotejamento e as chuvas que ocorreram no período não foram suficientes para que houvesse escoamento superficial sendo o solo em sua camada superficial composto por 91,7% de areia e a topografia do terreno plana.

O fluxo vertical (Q_z) representa a quantidade de água que passou pela unidade de área de solo e por unidade de tempo e possibilitou a determinação do movimento de água no solo, segundo a expressão:

$$Q_z = K(h) \frac{\partial H}{\partial z} \quad (10)$$

em que:

K(h) = condutividade hidráulica do solo não saturado;

∂H = variação da carga hidráulica;

∂z = camada de solo estudada; e

∂H/∂z = gradiente hidráulico.

A variação no armazenamento de água no solo (ΔA_z) foi calculada pela equação (11), a partir dos parâmetros da curva de retenção de água no solo, da condutividade hidráulica do solo saturado (Tabela 3), da condutividade hidráulica do solo não saturado (equação 2) e do gradiente do potencial matricial no perfil do solo, obtido dos dados de

tensiometria, assumindo-se um fator de molhamento médio do solo, durante o período, de 0,30 metros.

$$\Delta A_z = Z(\theta_{i+1} - \theta_i)FM \quad (11)$$

em que:

Z = profundidade da camada do solo estudada;

θ = umidade do solo;

i = 1, 2, 3, ... semanas;

FM = fator de molhamento médio do solo.

Os potenciais matriciais da água no solo foram obtidos pelas médias semanais das leituras diárias dos tensiômetros nas cinco baterias, caracterizadas anteriormente, instaladas na área experimental.

A umidade volumétrica atual (θ_{atual}) nas camadas do solo foi obtida pela equação de Van Genuchten (1980) e a umidade do solo na capacidade de campo (θ_{cc}) foi deduzida a partir da curva de retenção de água no solo assumindo-se, para tal, as umidades correspondentes às tensões equivalentes a 40, 50 e 55 cmca, nas camadas do solo 0-20, 20-35 e 35-50 cm, respectivamente.

A umidade do solo no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) foi assumida como a umidade correspondente à tensão equivalente a 5.000 cmca por se tratar de solo bastante arenoso e havendo as curvas se estabilizado a partir da pressão equivalente a 3.000 cmca quando as amostras foram submetidas à extração de água através do aparelho extrator de Richards equipado com placas de cerâmica.

A disponibilidade total de água no solo (DTA) foi obtida usando-se as médias de θ_{cc} e θ_{pmp} das três camadas do solo já mencionadas. A disponibilidade real de água no solo (DRA) foi obtida multiplicando-se DTA pelo fator de disponibilidade de água no solo (f) (BERNARDO; SOARES E MANTOVANI, 2005).

O fator (f) foi obtido pela equação (12), usando-se as médias de θ_{cc} e θ_{pmp} das três camadas do solo já mencionadas.

$$f = \left(\frac{\theta_{cc} - \theta_{atual}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} \right) \quad (12)$$

em que os termos da equação já foram definidos anteriormente.

3.5 CARACTERÍSTICAS CULTURAIS AVALIADAS

3.5.1 Crescimento

O crescimento vegetativo foi determinado através de dados referentes à altura das plantas e percentual de cobertura do solo, coletados em 11 épocas durante o ciclo, a partir da quinta semana após a semeadura. Esses dados foram coletados em cinco amostras representativas da área cultivada, medindo 200 m² cada, composta cada uma por 500 plantas, sendo que a cada tomada foram feitas 250 medidas (50 plantas por amostra).

A altura média das plantas e a cobertura efetiva do solo, bem como, a determinação do crescimento diário, foram feitos através de medições efetuadas a partir do 28° até 101° DAE, em intervalos de tempo variáveis quanto ao número de dias.

Para a determinação da altura das plantas considerou-se a distância vertical do nível do solo até a inserção do ultimo racemo, ou meristema apical, quando não existia racemo, com o auxílio de uma régua graduada, de comprimento de 1 metro, nas fases iniciais e uma fita métrica adaptada a um bastão de madeira nas fases finais.

A cobertura efetiva do solo, expressa em porcentagem, foi definida pelo fator de cobertura, obtido pela razão entre a área de solo efetivamente coberta pelas plantas e a área ocupada pelo espaçamento da cultura. Como a cultura foi plantada em fileiras duplas, formando assim faixas, foi considerada a área coberta por essas faixas em relação à área total, equação (13).

$$FC = \frac{Fx}{E} 100 \quad (13)$$

em que:

FC = fator de cobertura (%);

Fx = largura da área coberta pela faixa de cultivo ou fileira dupla (m); e

E = espaçamento entre faixas de cultivo (m).

3.5.2 Fases fenológicas

O ciclo de produção da mamoneira, cultivar BRS Energia foi caracterizado de acordo com as observações realizadas em campo, em função da ocorrência dos principais processos fisiológicos e da cobertura do solo pela cultura, sendo dividido em quatro fases fenológicas.

A fase I teve duração de 16 dias e correspondeu ao período entre a semeadura e o estágio de, aproximadamente, 10% de cobertura do solo pela cultura. A fase II teve duração de 33 dias e correspondeu ao período compreendido entre o final da fase I e os eventos de início do florescimento da ordem dos racemos principais e, aproximadamente, 70% de cobertura relativa do solo pela cultura. A fase III teve duração de 28 dias e compreendeu o período entre o final da fase II e o início de estágio de senescência da cultura. A fase IV teve duração de 33 dias e compreendeu o período entre o final da fase III e a colheita.

3.5.3 Componentes da produção e produtividade

Para obtenção dos dados de produção foram coletadas 15 amostras de frutos em cada ordem de racemo, totalizando 45 amostras. As amostras foram coletadas em 15 locais representativos da área experimental, compreendendo 28 plantas em cada local de amostragem. Nos locais destinados à amostragem, a colheita foi feita manualmente, por ordem de racemo, à medida que 60% dos frutos apresentavam-se totalmente secos. Em seguida os racemos foram postos em piso de cimento a pleno sol, com o objetivo de completar o processo de secagem e homogeneizar o teor de umidade nos frutos. Em seguida os frutos das amostras foram destacados das raques e submetidos à pesagem em balança de precisão.

Para obtenção dos dados de rendimento foram tomadas 15 subamostras de cada ordem de racemo, totalizando 45 subamostras de frutos, de massas proporcionais às massas das amostras, que após pesadas foram submetidas ao processo de determinação da umidade dos frutos. Outras 15 subamostras foram tomadas, por procedimento similar ao anterior, descascadas e submetidas ao processo de estimativa do rendimento de grãos em relação à massa de frutos, e determinação da umidade dos grãos. Os procedimentos de determinação de

umidade, tanto dos frutos quanto dos grãos, foram realizados em estufa a 105°C por 24 horas com duas repetições para cada subamostra.

Através dos procedimentos acima descritos foram levantados dados referentes aos seguintes componentes de produção da cultura:

- ✓ Número médio e comprimento médio de racemos por planta e por ordem de racemo;
- ✓ Massa média de frutos por ordem de racemo e por planta;
- ✓ Produtividade média em massa de racemos, frutos, grãos, cascas e torta de mamona por ordem de racemo e total;
- ✓ Contribuição relativa das ordens de racemo na produtividade total da cultura;
- ✓ Taxa de rendimento de frutos, grãos e torta de mamona em relação à massa de racemos e de frutos, por ordem de racemo e total;
- ✓ Taxa de rendimento e produtividade de óleo de mamona por ordem de racemo e total;
- ✓ Massa média de 100 grãos por ordem de racemo e total.

Determinou-se o número médio de racemos por planta e por ordem, mediante a divisão do número médio de racemos colhidos, em cada ordem, pela quantidade de plantas da parcela (28 plantas). Para determinação do comprimento dos racemos, as medições foram tomadas em toda a extensão da raque, isto é, desde a sua inserção até o ápice, utilizando-se para tanto uma régua graduada em centímetros. O comprimento médio foi obtido pela média das medidas dos racemos em cada ordem.

A massa média de frutos por ordem de racemo foi determinada pela relação entre a produção média de frutos em cada ordem e o número de plantas. A produtividade média de racemos foi obtida pelo quociente entre a massa média dos racemos em cada ordem e o número médio de racemos produzidos por cada ordem. O rendimento percentual de grãos ou de debulha foi determinado pelo quociente entre a produtividade total de grãos em kg ha^{-1} e a produtividade total de frutos em kg ha^{-1} ; a produtividade de grãos em cada ordem de racemo foi obtida separadamente, com isto, foi possível determinar a participação percentual de cada uma delas em relação à produtividade total. A produtividade de grãos foi obtida pela pesagem dos grãos de cada parcela amostrada com os valores sendo extrapolados para kg ha^{-1} .

Comparou-se o resíduo de umidade dos grãos em relação à umidade dos frutos em casca. Para tal foram tomadas 15 amostras de frutos de mamona em casca e determinada a umidade em estufa a 105 °C por 24 horas. Em seguida foram tomadas, do mesmo lote, depois de descascados os frutos, outras 15 amostras e submetidas ao mesmo processo de determinação da umidade. Em ambos os casos foram usadas 3 repetições por amostra e considerada, para efeito de cálculo, a média simples das três repetições.

3.5.4 Rendimento de óleo

O rendimento de óleo em kg ha⁻¹ foi estimado a partir dos valores da produtividade de grãos por ordem de racemo e do percentual de óleo dos mesmos em cada ordem, em 45 amostras de grãos, 15 por cada ordem de racemo. A massa de mil sementes foi determinada de acordo com as Regras para Análise de Sementes- RAS, no laboratório de sementes da UFERSA, utilizando-se uma balança com precisão de duas casas decimais.

Após beneficiamento e pesagem foram tomadas amostras de grãos, em cada ordem de racemo, as quais foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, e encaminhadas para determinação do teor de óleo. O teor de óleo foi determinado no Laboratório da Embrapa Algodão em Campina Grande – PB, com umidade corrigida para 10%, pelo método de Ressonância Magnética Nuclear RMN, seguindo-se os procedimentos analíticos descritos em Oxford Instruments (1995).

3.6 EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA

Foi avaliada a eficiência do uso da água (EUA) pela cultura da mamoneira, cultivar BRS Energia, nas condições do presente estudo, referentes à produtividade de grãos e de óleo de mamona, utilizando-se as seguintes metodologias para sua determinação:

a) Cálculo da EUA em kg de grãos e de óleo de mamona produzidos por m³ de água aplicada levando em consideração a água aplicada via irrigação e a fração referente à precipitação efetiva calculada (equação 11):

$$EUA (kg \text{ ha}^{-1} \text{ m}^{-3}) = \frac{PROD}{V} \quad (14)$$

em que:

PROD - produtividade da cultura (kg.ha⁻¹);

V – volume de água disponibilizado à cultura (m³);

b) Cálculo da EUA em kg de grãos e de óleo de mamona produzidos por mm de água aplicada levando em consideração a lâmina aplicada pela irrigação e a fração referente à precipitação efetiva calculada (equação 12):

$$EUA(kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}) = \left(\frac{PROD}{I + Pe} \right) \quad (15)$$

em que:

PROD - produtividade da cultura ($kg \cdot ha^{-1}$);

I - lâmina aplicada pela irrigação (mm); e

P - precipitação efetiva (mm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Os principais elementos climáticos foram obtidos da estação climatológica do INMET de Mossoró, localizada a 20 km de distância da área experimental, durante a execução do experimento e são apresentados nas tabelas seguintes.

4.1.1 Temperatura do ar

Durante a execução do experimento a temperatura do ar oscilou entre 20,6 °C e 35,5 °C, tendo as mínimas variado entre 20,6 °C e 26,0 °C, as máximas entre 29,0 °C e 35,5 °C. As médias variaram entre 25,9 °C e 28,9 °C (Figura 7).

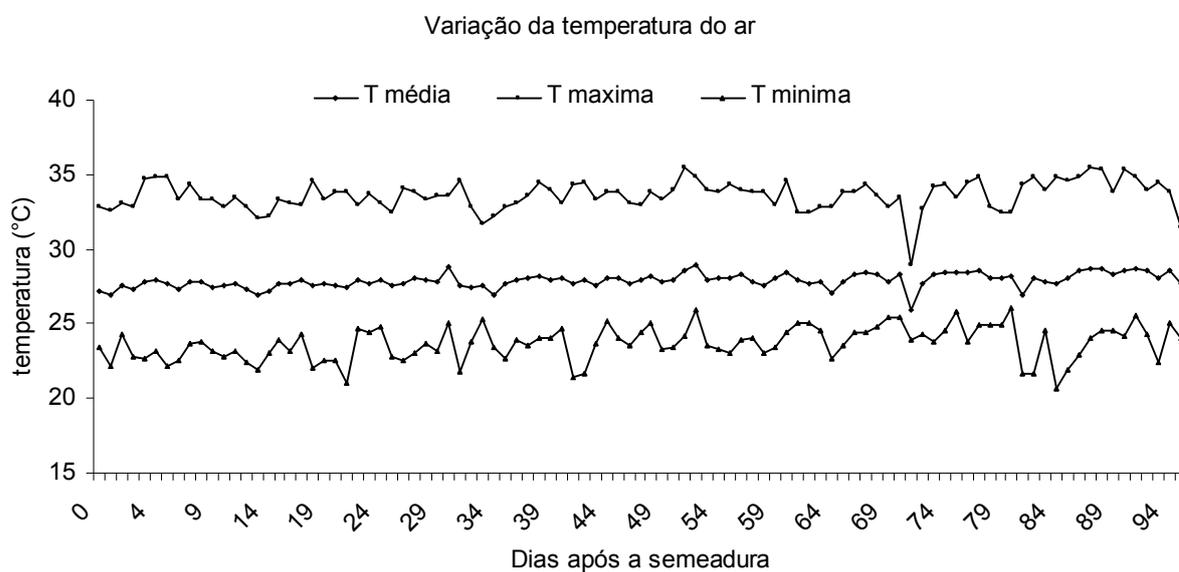


Figura 7. Variação das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias, do ar, durante a execução do experimento. Mossoró-RN, 2007/2008.

Os dados de temperatura média do ar são apresentados na Tabela 7, com média das mínimas de 23,7 °C, média das máximas de 33,6 °C e média das médias de 27,9°C.

De acordo com Beltrão (2001) a mamoneira requer clima tropical, com temperatura média do ar entre 20 e 30° C. Ainda segundo o autor, essa condição climática,

associada com outros fatores, tais como, altitude entre 300 a 1500 m e precipitação pluviométrica de pelo menos 500 mm no ciclo da cultura, são essenciais para assegurar produtividade entre 1.000 e 1.500 kg ha⁻¹, em regime de sequeiro, para cultivares como a BRS 149 Nordestina e a BRS 188 Paraguaçu.

Tabela 7. Temperaturas mínimas, médias e máximas, do ar, obtidas durante o período de execução do experimento

Temperatura do ar (°C)								
Mínimas			Médias			Máximas		
Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
20,6	23,7	26,0	25,9	27,9	28,9	29,0	33,6	35,5

Segundo Silva (1981); Silva; Amorim Neto e Beltrão (2000); Beltrão e Cardoso (2006), a temperatura ideal para o crescimento e maturação dos frutos é de 25°C, podendo variar de 20°C a 30°C, ou até 35°C. Para Beltrão e Silva (1999), temperaturas superiores a 40°C podem provocar aborto de flores, reversão sexual e reduzir substancialmente o teor de óleo nas sementes.

Para Severino et al. (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 e 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.

4.1.2 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar, durante a execução do experimento, oscilou entre 25,0 % e 92,0 %, tendo a mínima variado entre 25,0 % e 68,0 %, a máxima entre 72,0 % e 92,0 % e a umidade relativa média entre 57,2 % e 83,4 % (Figura 8), com média das mínimas de 41,0 %, média das máximas de 83,9 % e média das médias de 66,9 %, (Tabela 8).

De acordo com Savy Filho (2004), o clima propício para a mamoneira é o quente e úmido, com estações bem definidas, chuvosa na fase inicial e de crescimento, e seca na época da maturação e colheita dos frutos. Sua produção e rendimento dependem das condições ambientais, sendo os elementos climáticos precipitação pluviométrica, 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.

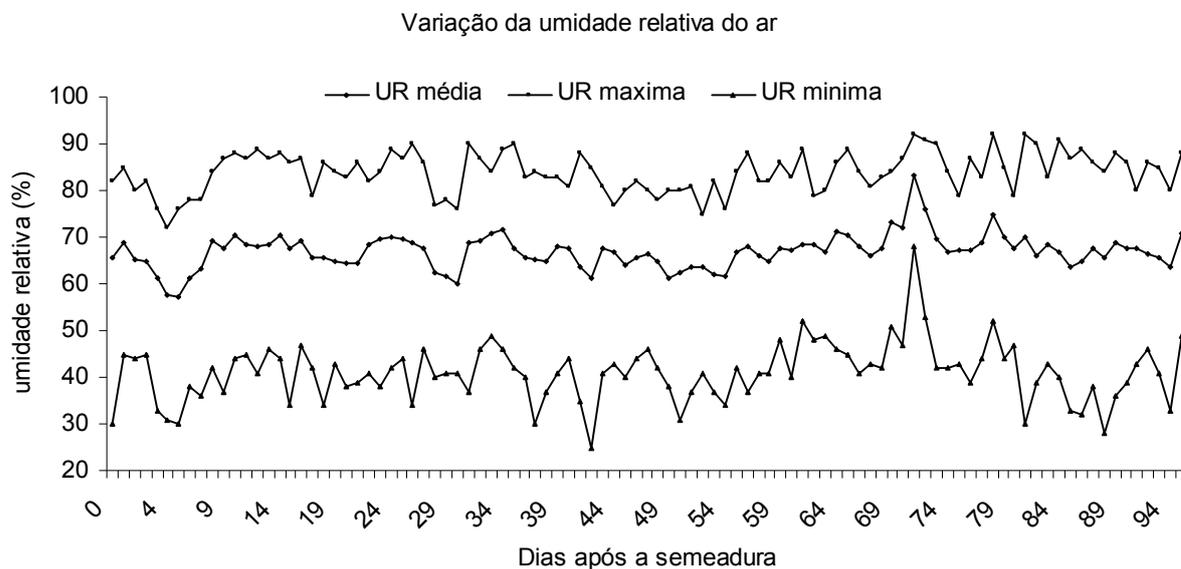


Figura 8. Variação das umidades relativas, máxima, média e mínima, do ar, durante o período de execução do experimento. Mossoró-RN, 2007/2008.

Tabela 8. Umidades relativas mínimas, médias e máximas do ar, obtidas durante o período de execução do experimento.

Umidade relativa do ar (%)								
Mínimas			Médias			Máximas		
Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
25,0	41,0	68,0	57,2	66,9	83,4	72,0	83,9	92,0

4.1.3 Pressão de saturação de vapor

Na Tabela 9 constam os valores mínimos, médios e máximos, referentes às pressões de saturação de vapor de água, pressão real de vapor de água e o déficit de pressão de vapor de água registrados durante a execução do experimento. A Figura 9 ilustra as respectivas variações desses elementos climáticos durante o período de execução do experimento.

Tabela 9. Valores mínimos, médios e máximos de pressão de saturação, pressão real e déficit de pressão de vapor de água registradas durante o período de execução do experimento

Pressão de vapor de água (kPa)						Déficit médio de
Saturado e_s			Real e_a			Pressão de
Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	vapor (kPa)
3,6	4,1	4,5	1,8	2,3	2,7	1,8

Dai, Edwards e Ku (1992) estudaram os efeitos do déficit de pressão de vapor de água sob as características fisiológicas da mamoneira, e verificaram que a assimilação de CO_2 e a condutância estomática se reduzem consideravelmente com o aumento do déficit de pressão de vapor e com temperaturas acima de $40^\circ C$, as quais favorecem o aumento da taxa de fotorrespiração. O contrário acontece em baixo déficit de pressão de vapor com temperatura de até $30^\circ C$, alta luminosidade e elevada concentração de CO_2 . Em tais condições a mamoneira apresenta taxa fotossintética superior a outras plantas C_3 , como o tabaco e C_4 , a exemplo do milho, cultivadas nas mesmas condições.

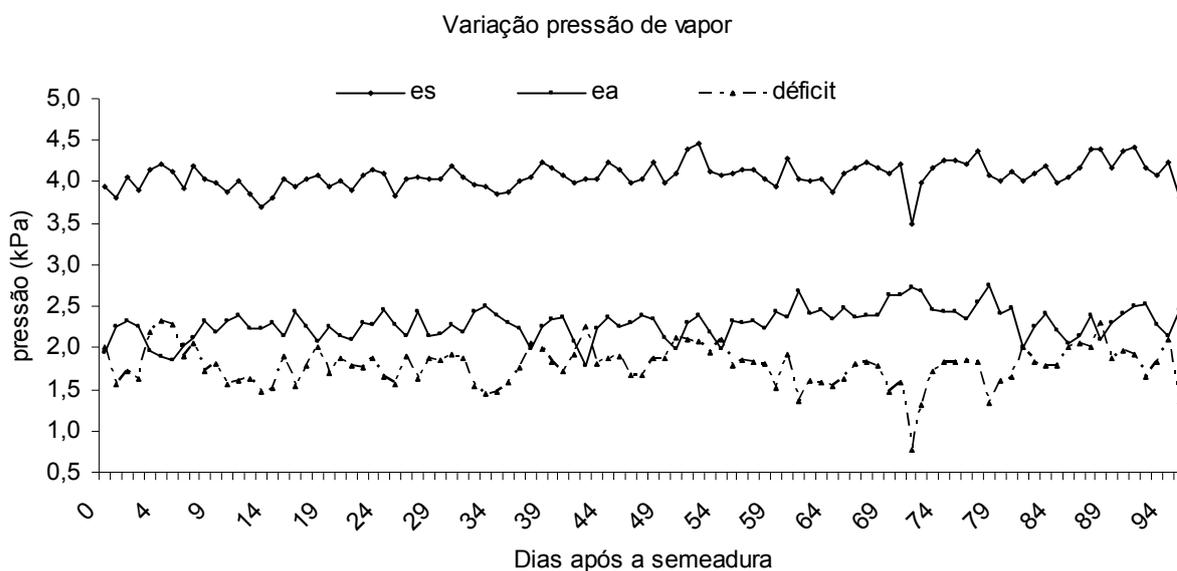


Figura 9. Variação da pressão de saturação, da pressão real de vapor e de déficit de saturação durante o período de execução do experimento. Mossoró-RN, 2007/2008.

4.1.4 Radiação solar

A radiação solar global e líquida, obtidas durante o período de estudo, apresentou

os valores absolutos constantes na Tabela 10. A Figura 10 ilustra as variações de radiação solar global e líquida durante o período de execução do experimento.

Tabela 10. Valores máximos, mínimos e médios da radiação solar global e líquida durante o período de execução do experimento

Radiação global ($\text{Mj m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)				Radiação líquida ($\text{Mj m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)			
Mínima	Média	Máxima	Acumulada	Mínima	Média	Máxima	Acumulada
12,24	24,20	27,53	2.347,59	7,98	13,40	17,22	1.299,73

A radiação solar tem papel importante como regulador e controlador dos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas. Penman (1956), argumenta que, quando a cobertura do solo é completa, a evapotranspiração é condicionada principalmente pelos elementos meteorológicos. Dentre esses elementos, a radiação líquida é a que exerce maior influência na taxa de evapotranspiração dos cultivos.

Utilizando o método do Balanço de Energia Razão de Bowen, Dias et al. (2009) relata que o consumo da radiação líquida pelo processo de evapotranspiração da mamoneira, cultivar BRS Energia, variou de 70% a 100% quando a cobertura relativa do solo pela cultura variou de 40% a 100%. Oliveira (2004), estudando o balanço de energia no Pantanal, concluiu que durante o período de cheia o processo de evapotranspiração utiliza 80% da radiação líquida. Granjeiro (2004) concluiu que durante o desenvolvimento da cultura do algodoeiro, 87% da radiação líquida foi utilizada no processo de evapotranspiração e Moura (2001) concluiu que a radiação líquida foi quase totalmente consumida no processo de evapotranspiração em um pomar de goiabeira irrigada.

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 da cultura, quando a umidade do solo não for fator restritivo.

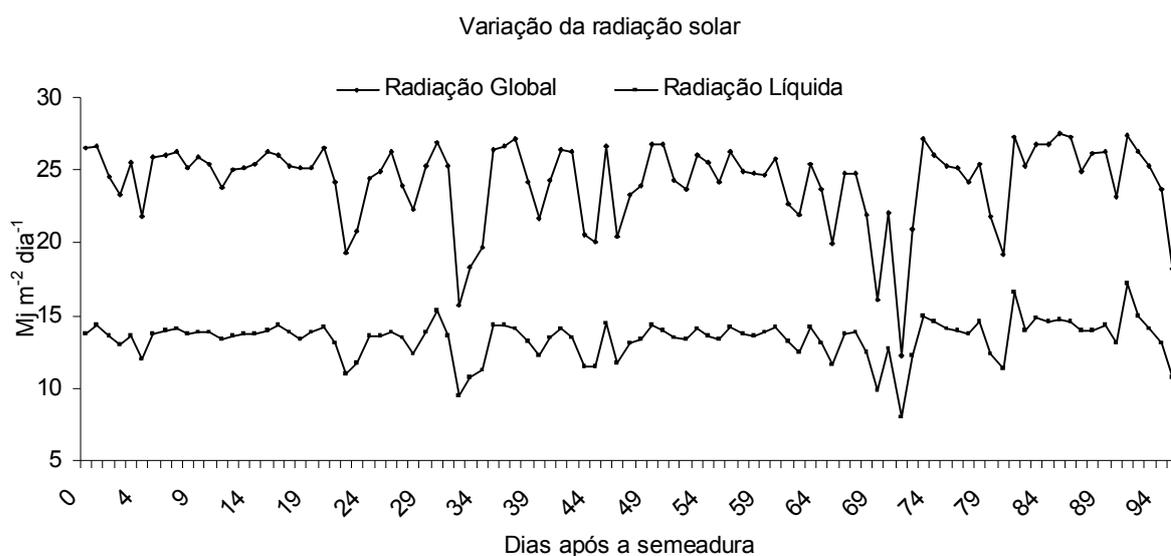


Figura 10. Variação da Radiação global e Radiação Líquida durante o período de execução do experimento. Mossoró-RN, 2007/2008.

4.1.5 Insolação

A duração máxima diária de brilho solar variou muito pouco, haja vista, que o trabalho foi desenvolvido em baixa latitude, $5^{\circ} 03' 40''\text{S}$; $37^{\circ} 23' 51''\text{W}$ Grw e nas estações de primavera e verão (Figura 11). De acordo com Távora (1982), a mamoneira prefere dias longos em termos de fotoperíodo. Para Weiss (1983); Vijaya Kumar et al, (1997); Silva; Amorim Neto e Beltrão, (2000) e Beltrão et al. (2003), essa cultura necessita de pelo menos 12 horas de luz por dia para produzir satisfatoriamente, sendo que com menos de 9 horas de luz por dia, o crescimento e a taxa fotossintética tendem a ser reduzidos. Ainda, segundo Vijaya Kumar et al. (1997) as maiores variações no rendimento dessa cultura ocorrem devido ao comprimento do dia. Os números mínimo, médio, máximo diários e o acumulado de horas de brilho solar possível durante o período de execução do experimento, encontram-se na Tabela 11.

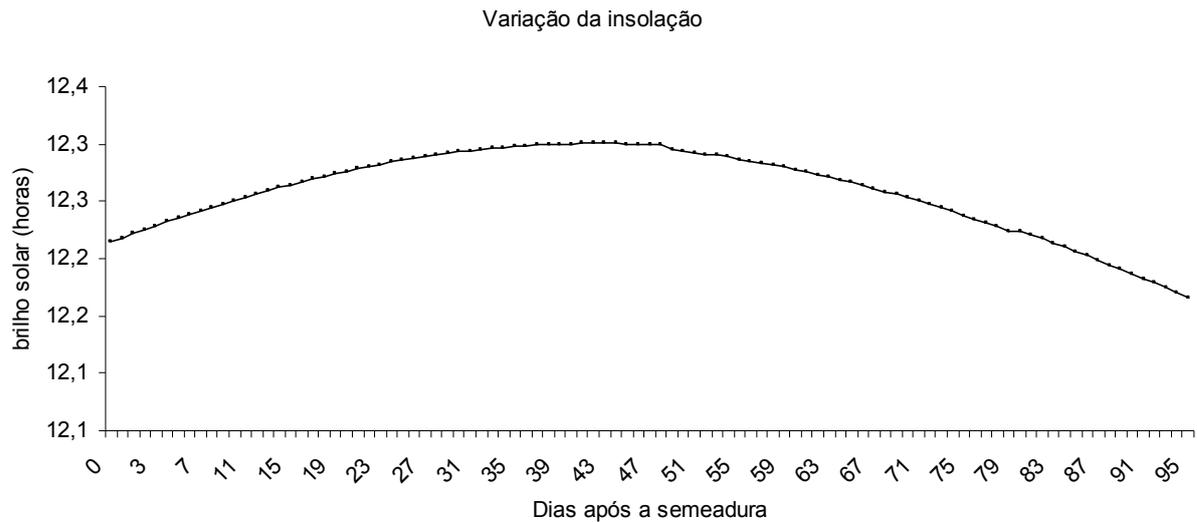


Figura 11. Variação da duração da insolação possível durante o período de execução do experimento, sob condições de ausência de nebulosidade. Mossoró-RN, 2007/2008.

Tabela 11. Número de horas de brilho solar (insolação) durante o período de execução do experimento

Brilho solar (horas)*			
Mínima	Média	Máxima	Acumulado
12,17	12,26	12,30	1.189,06

*Refere-se ao número possível ou teórico de horas de brilho solar, isto é, sob condições de ausência de nebulosidade.

4.1.6 Velocidade do vento

Os dados da velocidade do vento, mínimas, médias e máximas, obtidas a 10 m e a 2 m de altura são apresentados na Figura 12 e Tabela 12, bem como, os dados referentes à evapotranspiração de referência mínima, média, máxima e acumulada no período.

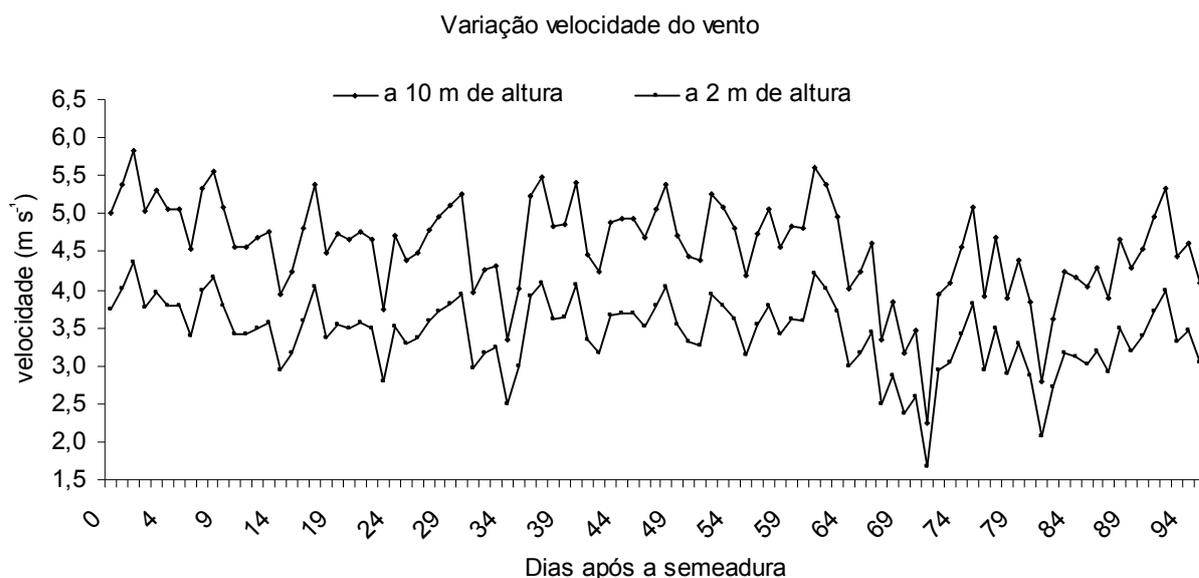


Figura 12. Variação da velocidade do vento durante o período de execução do experimento. Mossoró-RN, 2007/2008.

Tabela 12. Velocidade do vento e evapotranspiração de referência durante o período de execução do experimento

Velocidade do vento ($m\ s^{-1}$)						Evapotranspiração de referência ($mm\ dia^{-1}$)		
a 10 m de altura			a 2 m de altura*					
Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
2,24	4,57	5,84	1,67	3,42	4,37	2,98	6,60	8,80

* Estimada pela equação: $u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)}$, sendo u_2 e u_z as velocidades do vento a 2 e a z metros de altura, respectivamente, sobre a superfície, z a altura de medição sobre a superfície (ALLEN et al., 1998).

4.1.7 Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência foi calculada através do método FAO-Penman-Monteith, conforme descrito por Allen et al. (2006). Seus valores máximo e mínimo foram observados, respectivamente, nos 27 DAS e 71 DAS, concomitantemente com os valores máximo e mínimo de radiação global e radiação líquida (Tabela 12 e Figura 13).



Figura 13. Variação da evapotranspiração de referência durante o período de execução do experimento. Mossoró-RN, 2007/2008.

4.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA

A evapotranspiração da cultura foi estimada semanalmente, a partir da 5ª semana após a semeadura, pelo método do balanço hídrico do solo. O balanço hídrico do solo foi estimado a partir dos valores calculados do potencial matricial, obtido a partir de dados de tensiometria, e da curva característica de retenção ajustada, possibilitando a transformação dos valores de potencial matricial em umidade volumétrica do solo.

4.2.1 Potencial matricial do solo

A Figura 14 apresenta as variações do potencial matricial no perfil do solo nas profundidades de 20, 40 e 60 cm, no período da 5ª à 14ª semana após a semeadura. Analisando essa figura, verifica-se que a partir da sétima semana houve uma redução considerável do potencial matricial nas três profundidades analisadas em relação ao comportamento da curva no período anterior. Tal fato está relacionado à redução no suprimento hídrico para a cultura ocorrido na 6ª e 7ª semana, conforme demonstra a Figura 15, ocasionado por um erro no manuseio da planilha utilizada para o cálculo da lâmina de

irrigação durante este período, tendo sido aplicada uma lâmina diária aquém da ET_c estimada segundo modelo da FAO.

A partir da 8ª semana, com a regularização da planilha e aplicação de uma lâmina de irrigação coerente com a demanda hídrica diária da cultura, calculada pelo modelo FAO, o potencial matricial nas três profundidades do solo tendeu a voltar à condição anterior a partir das camadas mais superficiais. Esse evento é verificado até a 9ª SAS nas profundidades de 20 e 40 cm, e até a 10ª SAS na profundidade de 60 cm, quando, a partir daí, o potencial matricial começa a se estabilizar, permanecendo praticamente estável até a 11ª SAS nas profundidades de 20 e 40 cm. O retardamento da resposta do potencial matricial à adição de água ao solo pode estar associado à lentidão da dinâmica da água no solo, segundo Reichardt e Timm (2004), considerando-se que o solo trabalhado apresenta maior teor de argila nas camadas mais profundas do perfil.

A recuperação mais acentuada das tensões da 11ª para a 12ª SAS, principalmente na profundidade de 60 cm, pode ser explicada pela ocorrência de precipitação pluviométrica entre a 10ª e a 12ª SAS, mais intensamente na 12ª SAS (Tabela 6).

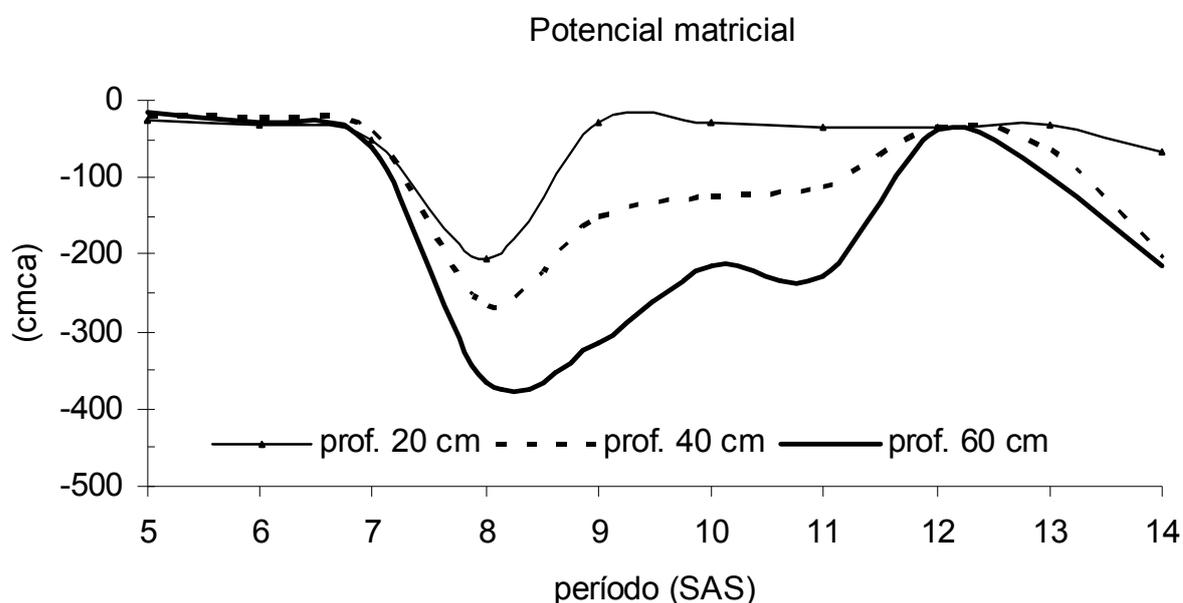


Figura 14. Potencial matricial médio do solo para as profundidades de 20, 40 e 60 cm, medido no intervalo da 5ª à 14ª semana após a semeadura

Pela Figura 14, observa-se que os menores valores do potencial matricial foram registrados na 8ª SAS para as três profundidades do solo, ao mesmo tempo, -204,4, -266,9 e -365,7 cmca, para as profundidades de 20, 40 e 60 cm, respectivamente, resultado do

desabastecimento de água no solo na 6ª e 7ª SAS, quando as lâminas de água aplicadas tiveram seus menores valores 26,6 mm e 27,4 mm, respectivamente, associado ao fato de que, justamente, na 8ª SAS, a cultura teve sua demanda máxima (55 mm), de acordo com a estimativa da ET_C .

Ainda pela Figura 14, pode-se verificar que a partir da 9ª SAS o potencial matricial na profundidade de 20 cm, manteve-se praticamente estável até o final do período de irrigação. O mesmo não ocorreu para as outras profundidades que só na 12ª semana atingiram potencial matricial idêntico ao da primeira profundidade. Esse fato pode evidenciar, além do reabastecimento das camadas mais profundas do solo pelo fluxo de água a partir da superfície, a diminuição gradativa da demanda hídrica da cultura.

4.2.2 Umidade do solo

Na Figura 15 é apresentada a umidade volumétrica média do perfil do solo, na profundidade do sistema radicular da cultura (θ_{atual}), assim como, os parâmetros médios da umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), umidade média no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) e umidade crítica ($\theta_{\text{crítica}}$).

Observa-se na Figura 15 que na 8ª SAS a umidade do solo ficou abaixo da umidade crítica, caracterizando déficit hídrico da cultura, fato constatado na Figura 14 pelos baixos potenciais matriciais do solo. O déficit hídrico calculado em relação à umidade na capacidade de campo, para a 8ª SAS, foi de 43%.

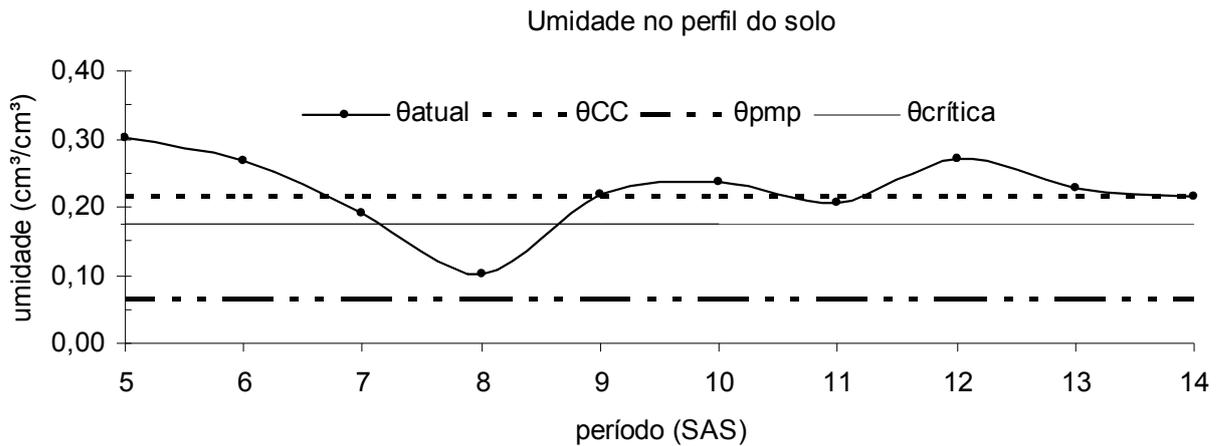


Figura 15. Ilustração da umidade no perfil do solo da 5ª à 14ª SAS, em relação à umidade do solo na CC, no PMP e umidade crítica. Mossoró-RN, 2007/08.

4.2.3 Déficit hídrico da cultura

Na Figura 16 são mostradas as curvas referentes à disponibilidade real de água no solo (DRA) e a demanda hídrica da cultura segundo modelo da FAO, em lâmina de água, para o período da 5ª à 13ª SAS. A 14ª SAS não foi considerada em função de que, nessa semana a cultura foi irrigada em apenas quatro dias. As informações contidas nessa figura caracterizam a ocorrência de déficit hídrico na 8ª SAS, quando a DRA foi menor que a demanda hídrica da cultura, corroborando com as informações apresentadas na Figura 14, referente aos potenciais matriciais em três profundidades do solo, e na Figura 15, quando é demonstrada a inferioridade da umidade do solo em relação à umidade crítica estabelecida pela relação entre a disponibilidade total de água no solo e o fator de disponibilidade de água.

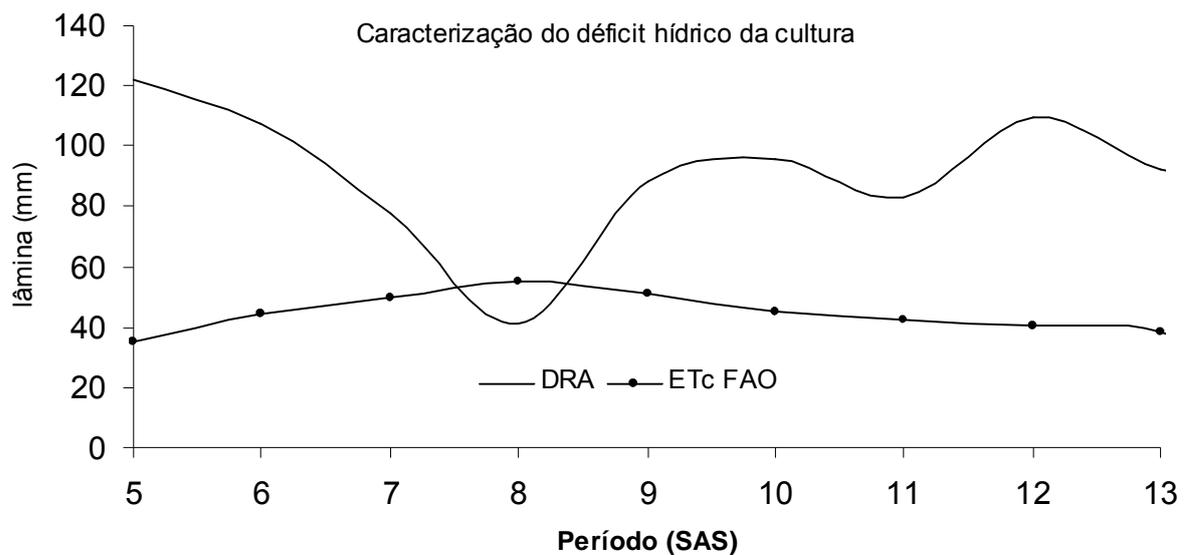


Figura 16. Caracterização do déficit hídrico da cultura ocorrido na 8ª semana após a semeadura, pela relação DRA, ETc. Mossoró-RN, 2007/08.

4.2.4 Balanço hídrico do solo

O balanço hídrico do solo determinado para o período entre a 5ª e a 13ª SAS, na profundidade efetiva do sistema radicular, bem como, os valores semanais de ET_C e K_C são mostrados na Tabela 13. Os dados mostram que as maiores saídas de água por percolação ocorreram na 5ª SAS (17,9 mm) e na 6ª SAS (11,2 mm), seguidas pela 12ª SAS (5,3 mm) e 7ª SAS (3,2 mm). As demais semanas não apresentaram valores expressivos de drenagem profunda.

A percolação ocorrida na 5ª e na 6ª SAS pode ser explicada pelo superávit hídrico, ocorrido em função das lâminas de água aplicadas até a 5ª SAS terem sido maiores que a demanda da cultura calculada pelo modelo da FAO, pois, pela Figura 15 observa-se que a umidade no perfil do solo correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura ficou acima da umidade na capacidade de campo nessas duas semanas.

A 7ª SAS, apesar do desabastecimento de água no solo a partir da 6ª SAS, apresentou percolação da ordem de 3,2 mm. Pela Figura 15, nessa semana a umidade no perfil do solo estava abaixo da capacidade de campo, não tendo atingido, ainda, a umidade crítica.

Da 8ª à 11ª e na 13ª SAS os valores indicadores de drenagem profunda podem ser considerados nulos. A 8ª SAS foi caracterizada pela ocorrência de déficit hídrico, conforme demonstra as figuras 14, 15 e 16. Da 9ª à 11ª e na 13ª SAS a umidade no perfil do solo

manteve-se praticamente na capacidade de campo, com superávit discreto na 10^a e 13^a SAS, Figura 15, não havendo perdas por percolação nem déficit hídrico.

Analisando-se os gráficos da Figura 14, deduz-se que as tensões, na 12^a SAS, nas três profundidades monitoradas, foram iguais entre si e similares às tensões encontradas nas semanas que antecederam o evento do déficit hídrico. Esses dados, juntamente com os valores revelados na Figura 15, para essa semana, mostra que houve superávit hídrico nesse período, razão pela qual registrou-se percolação de 5,32 mm nessa semana (Tabela 13).

Tabela 13. Balanço hídrico do solo cultivado com mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró-RN, 2007/08.

SAS	I+P (mm)	K _z (mm dia ⁻¹)	G _z (cmca)	Q _z (mm)	ΔA _z (mm)	ET _c (mm)	ET ₀ (mm)	K _c
5	35,78	8,7377	-0,98	-17,89	6,16	24,05	50,23	0,48
6	26,62	4,4707	-1,19	-11,20	13,07	28,49	49,6	0,57
7	27,39	0,7532	-2,01	-3,17	15,88	40,10	46,68	0,86
8	48,00	0,0069	-5,94	-0,09	-20,48	27,43	49,7	0,55
9	58,56	0,0017	-9,16	-0,03	-3,19	55,34	46,36	1,19
10	48,99	0,0007	-5,55	-0,01	5,45	54,43	41,75	1,30
11	46,74	0,0006	-6,76	-0,01	-11,49	35,24	41,07	0,86
12	35,26	2,4013	-1,05	-5,32	7,33	37,27	44,26	0,84
13	38,93	0,1502	-2,78	-0,88	2,64	40,69	48,97	0,83

SAS: Semana após a semeadura; I+P: Irrigação + Precipitação; K_z: Condutividade hidráulica no perfil do solo não saturado; G_z: gradiente de potencial matricial no perfil do solo; Q_z: fluxo de água no perfil do solo; ΔA_z: variação no armazenamento de água no perfil do solo; ET_c: evapotranspiração da cultura; ET₀: evapotranspiração de referência e K_c: coeficiente de cultivo

Lopes et al. (2005), avaliando o manejo da irrigação por tensiometria e o balanço hídrico climatológico, baseado no Tanque Classe A, para a cultura do feijoeiro em sistemas de plantio convencional e direto, concluíram que ambos os métodos são possíveis de ser adotados, sendo que o manejo por meio da tensiometria proporcionou economia de 15% na água de irrigação aplicada, sem afetar a produtividade em grãos. Esses autores, ainda, determinaram a variação de umidade no solo, através do potencial matricial por meio de dados de tensiômetros transformados para umidade volumétrica, utilizando uma curva de retenção obtida pelo modelo de Van Genuchten (1980).

Dourado Neto et al. (2004) propuseram modelo para estimar a depleção de produtividade de milho a partir da estimativa da evapotranspiração real através do balanço hídrico no solo, estimativa da evapotranspiração máxima e estimativa da produtividade potencial da cultura, viabilizando a indicação das épocas mais apropriadas para os cultivos irrigados e de sequeiro para os municípios do Estado de São Paulo.

Rose e Stern (1967), *apud* Richardt e Timm (2004), propuseram a análise da razão de absorção de água pelo sistema radicular, para diferentes profundidades do perfil do solo ocupado por uma cultura, isolando as perdas por transpiração.

4.2.5 Evapotranspiração

A curva referente ao comportamento semanal da evapotranspiração da cultura medida pelo método do balanço hídrico é apresentado na Figura 17, juntamente com as curvas referentes à evapotranspiração medida segundo o modelo da FAO e a evapotranspiração de referência, medida através do modelo FAO Penman-Monteith. Pelo gráfico pode-se visualizar que o máximo consumo, medido pelo balanço hídrico, ocorreu entre a 9ª e a 10ª semana após a semeadura, isto é, entre o 64º e o 77º dia após a semeadura.

Paralelamente, a estimativa de consumo hídrico, baseada no modelo da FAO, aponta para um consumo máximo na 8ª SAS, (7ª SAE), portanto, uma semana antes. O caso não permite uma comparação entre os dois métodos, uma vez que nesse período ficou evidenciado desabastecimento de água no solo, causando déficit hídrico à cultura.

Vale ressaltar, que a cobertura completa do solo pela cultura (100%), se deu aos 64 DAS e o início do período do declínio da cultura se deu aos 77 DAS. Esses dados reforçam a suposição de que o período de maior consumo hídrico da cultura, pode, realmente, ser o período apontado pela curva da ET_C calculada pelo balanço hídrico do solo.

Observa-se ainda na Figura 17 que a queda brusca no gráfico referente à ET_C balanço hídrico, na 8ª SAS, confirma a hipótese de que houve déficit hídrico naquela semana, pois não está relacionada à demanda atmosférica uma vez que a curva referente à ET_o teve comportamento contrário nesse período.

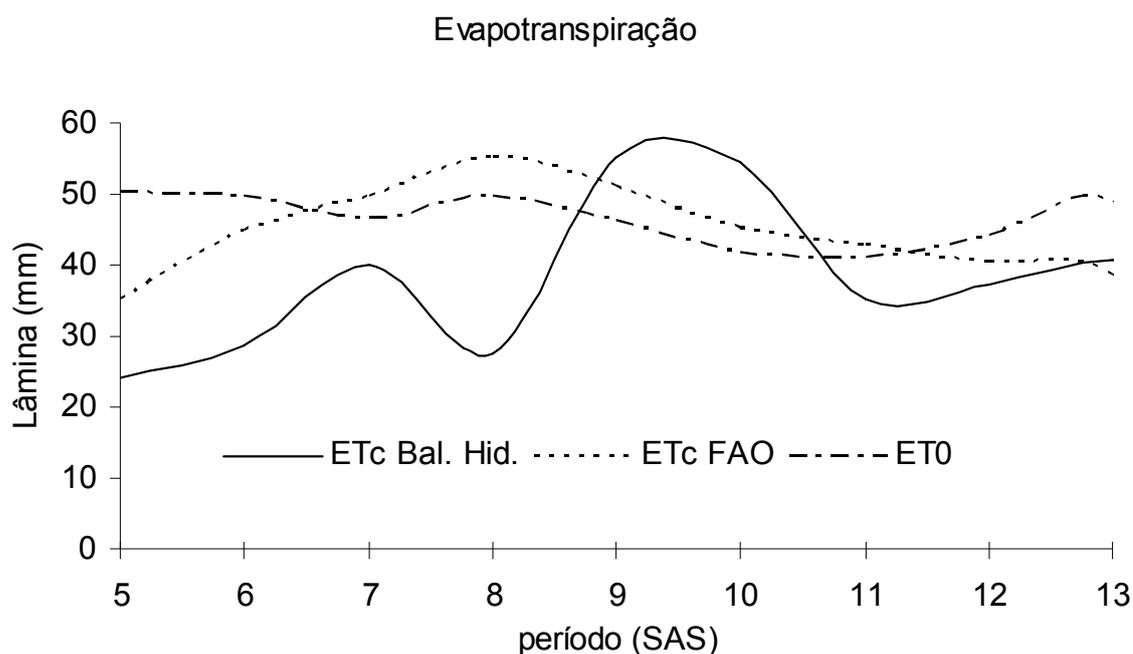


Figura 17. Evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelos métodos do balanço hídrico e do modelo FAO e Evapotranspiração de referência (ET₀) estimada pelo modelo FAO Penman-Monteith, no período compreendido entre 5^a e a 13^a SAS

Já a queda no gráfico da ETc balanço hídrico, verificada na 11^a SAS, pode ter relação com a variação da demanda atmosférica, uma vez que o solo estava abastecido de água e a curva referente à ET₀ apresentou uma flexão que pode ser notada entre a 10^a e a 11^a SAS, considerando-se ainda que ambos os gráficos voltam a subir logo após esse período.

Segundo Rosemberg, Blad e Verma (1983), variações nos valores de ETc podem estar associadas às variações da demanda atmosférica que influenciam o processo, caracterizada pela radiação solar global, efeito da velocidade do vento e da umidade relativa.

Moura (2005) relata que o aumento da ETc, decorrente da elevação da demanda evaporativa da atmosfera, dentre outros fatores, é causado pelo aumento da radiação solar global.

O valor máximo diário da ETc balanço hídrico, 7,91 mm, foi obtido pela média diária no período equivalente ao maior consumo da cultura, aproximadamente 56 DAE. Dias (2008), trabalhando com a mesma cultivar e utilizando o método do balanço de energia, razão de Bowen, obteve valor máximo diário similar, 7,65 mm, na fase de maior consumo hídrico da cultura que foi aos 65 DAE.

O valor mínimo diário da ETc no presente trabalho foi obtido pela média diária da 5^a SAS (21 a 28 DAE), 3,44 mm, o mínimo diário obtido por Dias (2008) foi de 2,87 mm no 8^o DAE. Vale ressaltar que o citado autor trabalhou com o método de irrigação por aspersão,

ao passo que no presente trabalho utilizou-se irrigação por gotejamento, portanto é natural que os valores sejam relativamente próximos, uma vez que naquele método e em se tratando de fase inicial, em que o solo ainda encontra-se totalmente exposto, a evaporação da água do solo seja o maior contribuinte do processo evapotranspiratório.

4.2.6 Coeficiente de Cultivo

Os valores semanais do coeficiente de cultivo (K_c) a partir da 5ª semana após a semeadura, são apresentados na Figura 18. Os valores foram obtidos a partir dos valores médios semanais da evapotranspiração da cultura (ET_c), estimada através do método do balanço hídrico, e da evapotranspiração de referência (ET_o), calculada através do método FAO-Penman-Monteith, descrito por Allen et al. (2006).

Devido ao comportamento variável da evapotranspiração da cultura ao longo do período em que esta foi irrigada (Figura 17), o comportamento do K_c obtido pelo balanço hídrico do solo também foi bastante variável ao longo do período, obtendo-se o menor valor médio semanal na 5ª semana após a semeadura (4ª semana após a emergência), e os maiores valores médios semanais na 9ª e na 10ª SAS.

A redução acentuada do K_c na 8ª SAS indica que a evapotranspiração da cultura nessa semana ocorreu sob condições de estresse hídrico, conforme ficou evidenciado na Figura 15, quando a umidade no perfil do solo foi inferior à umidade crítica.

De acordo com Allen et al. (2006), nestas circunstâncias o cálculo da ET_c deve se ajustado, devendo-se para isso multiplicar o valor do coeficiente basal do cultivo (K_{cb}) por um coeficiente de estresse hídrico (K_s).

Pela Figura 18 pode-se observar uma aparente estabilidade dos valores de K_c para a 11ª, 12ª e 13ª SAS, quando, a partir da 11ª SAS, a cultura entrou na fase de senescência. Esse evento pode ser explicado pelo fato de que, sendo a mamoneira uma planta de crescimento indeterminado, nesse período tanto perdeu quanto emitiu folhas, associado ainda ao fato de ocorrência de chuvas no final da 10ª, na 11ª e 12ª SAS, que pode ter potencializado a evaporação da água no solo das entre-linhas do cultivo à medida que as plantas perdiam as folhas.

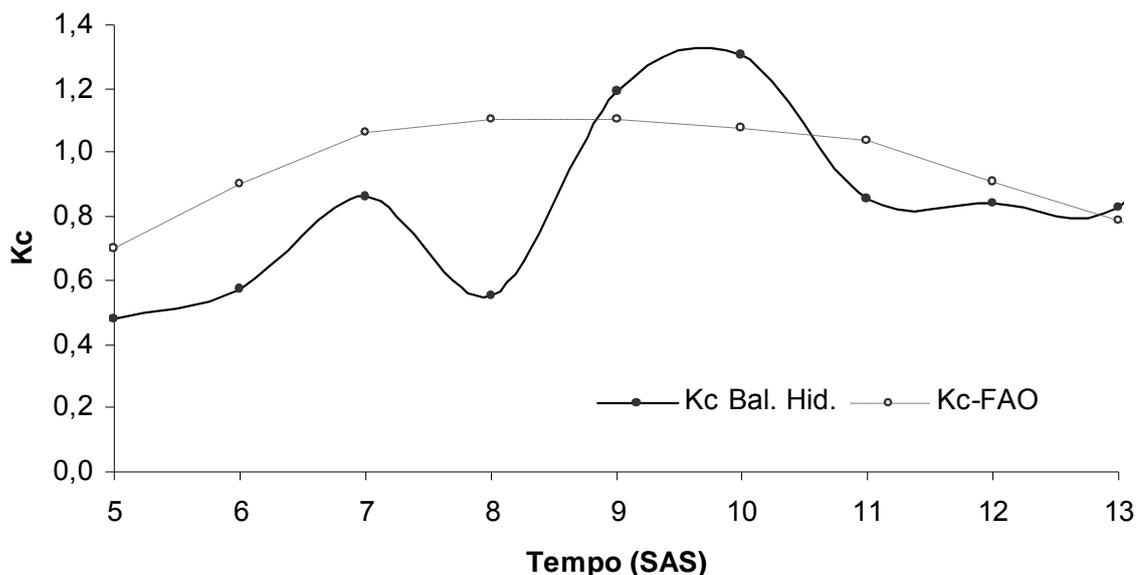


Figura 18. Coeficiente de cultivo semanal da cultura da mamoneira irrigada por gotejamento, cultivar BRS Energia, obtido pelo método do balanço hídrico do solo. Mossoró-RN, 2007/08.

A partir dos valores obtidos para o coeficiente de cultivo foi feito um ajuste para a curva do Kc obtido (Figura 19), o qual foi possível a partir da supressão de alguns valores semanais considerados incoerentes em função da própria marcha de evolução da curva. Portanto, ficou suprimido o valor de Kc referente à 8ª SAS, por se tratar de um valor atípico uma vez que os valores que o antecedem e o sucedem são maiores que este (Figura 18) além do que, nessa semana, ficou caracterizado déficit hídrico da cultura causado pelo abastecimento inadequado de água ao solo (Figuras 15 e 16). Esse fato ainda apresenta o inconveniente de, possivelmente, haver induzido as plantas a absorverem água de camadas mais profundas do solo, além das camadas consideradas como profundidade efetiva do sistema radicular que no presente estudo foi de 50 cm, mascarando assim os resultados obtidos.

Foram excluídos, também, para execução do ajuste os valores de Kc referentes à 11ª e 12ª SAS por apresentarem praticamente o mesmo valor encontrado para a 13ª SAS, o que pode ser atribuído à ocorrência de chuvas nesse período. Sendo assim, suas posições no gráfico causam uma flexão indesejável na curva que se quer ajustar, reduzindo, inclusive o valor de R^2 . Além do mais não existe coerência em se afirmar que o valor para as três semanas são iguais uma vez que a cultura nessa fase encontrava-se em plena senescência.

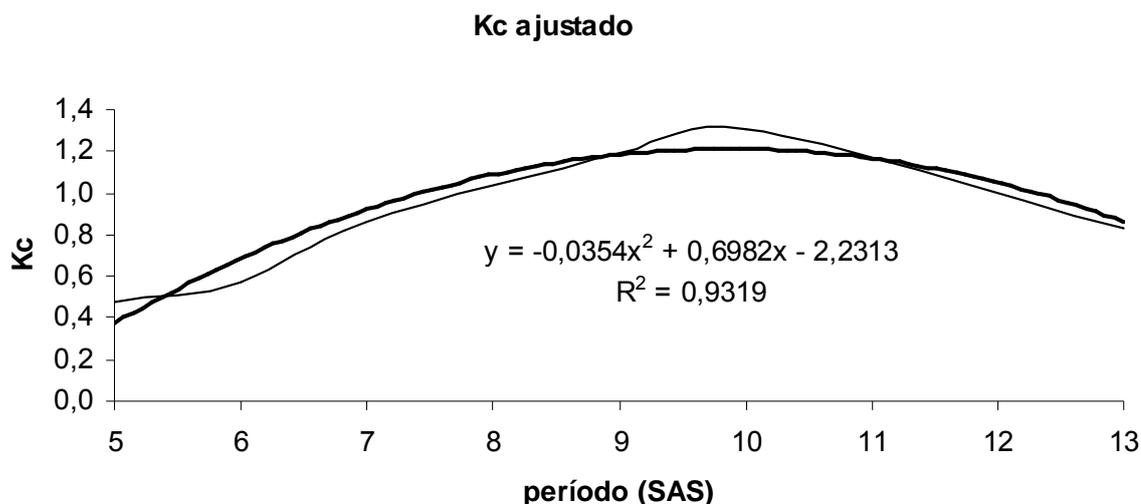


Figura 19. Curva ajustada de Kc para a cultura da mamoneira, cultivar BRS Energia, a partir da 5ª semana após a emergência, nas condições edafoclimáticas de Mossoró. 2007/08.

A curva do Kc ajustado apresentou valor máximo de 1,21, correspondente a uma fase intermediária entre a 9ª e a 10ª SAS, mais precisamente no ponto da curva correspondente a 9,75 semanas, valor mínimo de 0,37 na 5ª SAS, quando foram iniciadas as medidas e valor médio nas nove semanas em que foram feitas as medidas de 0,95. O valor médio de Kc para a fase II, nas duas semanas estudadas, 5ª e 6ª SAS, foi de 0,53, para a fase III foi de 1,11 e para a fase IV foi de 0,96 (12ª e 13ª SAS).

Os valores de Kc obtidos no presente trabalho são coerentes com os valores obtidos por DIAS (2008), para a mesma cultivar e ciclo, porém irrigada por aspersão em Barbalha-CE, quando obteve Kc médio no ciclo em torno de 0,93, na fase correspondente à fase III de 1,11 e na fase final de 0,87.

Curi e Campelo Júnior (2004) para a cultivar Íris, com ciclo de 110 dias, irrigada por aspersão, em Santo Antonio do Leverger-MT, obtiveram Kc médio de 0,72 para todo o ciclo, Kc mínimo de 0,34 na fase de emergência da cultura, Kc máximo de 1,29 no início da fase reprodutiva e Kc de 0,86 na formação e enchimento dos frutos.

Os valores de Kc propostos pela FAO para a mamoneira, são de 0,35 para a fase inicial, 1,15 para a fase média e 0,55 para a fase final (ALLEN et al., 2006)

4.3 DESENVOLVIMENTO DA CULTURA

4.3.1 Emergência e fenologia

A emergência das plântulas ocorreu gradativamente, sendo que aos 7 dias após a semeadura (DAS) constatou-se que em cerca de 10% da área experimental as plântulas já haviam emergido, aos 10 DAS registrou-se 23% de emergência e aos 15 DAS esse percentual foi de cerca de 70% (

0), entretanto, verificou-se emergência de plântulas até o final da terceira semana após a semeadura. Vale salientar que foram semeadas 3 sementes por cova. Esses dados estão, parcialmente, de acordo com Oplinger et al. (1997), quando afirma que as sementes da mamoneira germinam lentamente necessitando de 10 a 21 dias para a emergência das plântulas.

Emergência das Plântulas

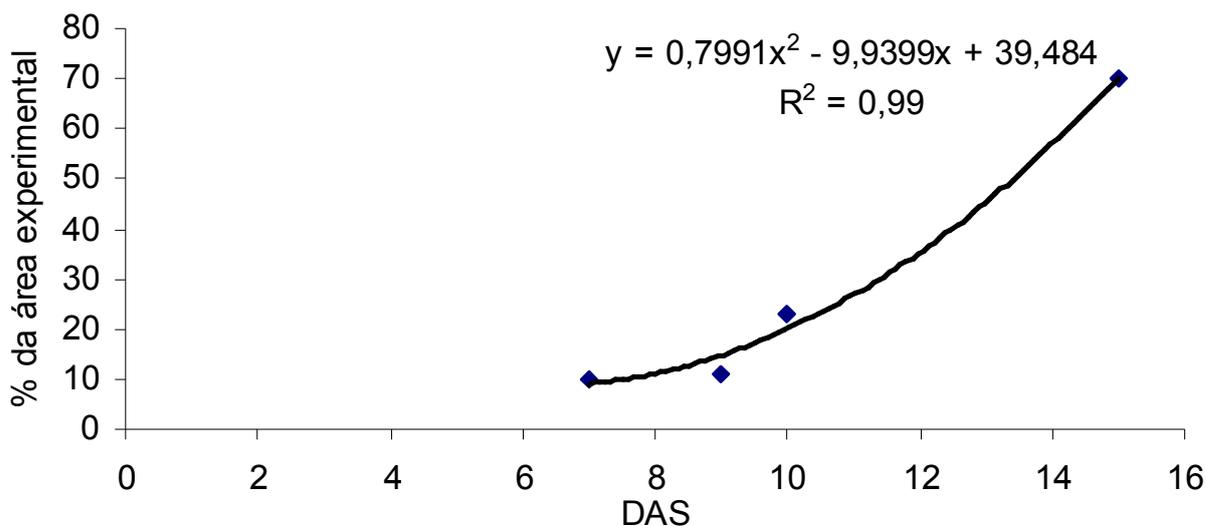


Figura 20. Marcha de emergência das plântulas de mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró – RN, 2007/2008.

O ciclo de produção da mamoneira, cultivar BRS Energia foi caracterizado em função da ocorrência dos principais processos fisiológicos e da cobertura do solo pela cultura, sendo dividido em quatro fases fenológicas. Allen et al. (2006) recomendam, para culturas extensivas, que o período vegetativo total seja dividido em quatro fases: inicial, de crescimento, período intermediário e período final.

A definição das fases fenológicas foi feita de acordo com as observações realizadas em campo e caracterizadas conforme descritas na Tabela 14. A fase I teve duração de 16 dias e correspondeu ao período entre a semeadura e 10% de cobertura do solo pela cultura. A fase II teve duração de 26 dias e correspondeu ao período compreendido entre o final da fase I e os eventos de início do florescimento da ordem dos racemos principais e, aproximadamente, 70% de cobertura relativa do solo pela cultura. A fase III teve duração de 35 dias e compreendeu o período entre o final da fase II e o início de estágio de senescência da cultura. A fase IV teve duração de 33 dias e compreendeu o período entre o final da fase III e a colheita da primeira ordem de racemo.

Tabela 14. Fases fenológicas da mamoneira, cultivar BRS Energia, no período de 12 de Novembro de 2007 a 16 de Fevereiro de 2008, Mossoró-RN.

Fases do desenvolvimento		DAS	Duração
I	Da semeadura até 10% de cobertura do solo.	1 – 16	16
II	I – até início do florescimento da 1ª ordem de racemo.	17 – 42	26
III	II – até início da senescência.	43 – 77	35
IV	III - até a colheita da primeira ordem de racemo.	78 – 110	33
Total de dias			110

DAS: dias após a semeadura

Dias (2008) dividiu e caracterizou o ciclo de produção da mamoneira cultivar BRS Energia, com espaçamento adensado de 0,60 x 0,37 metros, em cinco fases fenológicas em função da ocorrência dos principais processos fisiológicos e verificou que a fase I teve duração de 12 dias, a fase II de 25 dias, a fase III de 17 dias, a fase IV de 35 dias e a fase V de 17 dias.

As características e critérios observados pelo autor para divisão das fases fenológicas da cultura foram:

- ✓ Fase I - início da emergência das plântulas até, aproximadamente, 10% de cobertura do solo pela cultura;

- ✓ Fase II (desenvolvimento vegetativo) – final da fase I até o início da floração da primeira ordem de racemo;
- ✓ Fase III - correspondeu à fase do início do desenvolvimento reprodutivo, compreendeu um intervalo que foi do início da floração da primeira ordem de racemo ao surgimento das inflorescências da segunda ordem de racemos;
- ✓ Fase IV - se estendeu do final da fase III até a maturação da ordem de racemos primários;
- ✓ Fase V (final do ciclo) - compreendeu o período entre a maturação dos racemos primários e a maturação completa dos racemos secundários.

Comparando-se o tempo de duração das fases fenológicas, entre o presente e o trabalho citado, verificou-se que em função da ambigüidade entre os critérios adotados para caracterização da fase I nos dois trabalhos, quando no presente trabalho adotou-se como início da fase a semeadura e no trabalho citado a emergência das plântulas, não foi possível fazer uma comparação precisa, entretanto, considerando-se que se trata da mesma cultivar, adotando-se o período de sete dias, que foi o tempo que levou a cultura para que 10% da área experimental se apresentassem com plântulas emergidas (Figura 20) a diferença passa a ser de apenas três dias, o que pode ser perfeitamente ponderado uma vez que os métodos de observação das ocorrências dos processos fisiológicos foram meramente visuais nos dois casos. Segundo Allen et al. (2006) o comprimento da fase I depende do tipo de cultivo, da variedade cultivada, da época da semeadura e do clima.

Quanto à fase II (desenvolvimento vegetativo), verificou-se alta coerência no que se refere ao comprimento da fase nos dois trabalhos, 25 e 26 dias, uma vez que, tanto para o início, quanto para o término dessa fase, foram observados os mesmos processos fisiológicos nos dois trabalhos. Quanto às demais fases fenológicas a comparação foi inviabilizada em função da discrepância entre os métodos de determinação de início e final de fase.

Allen et al. (2006) através do manual 56 da FAO, recomendam a divisão dos ciclos de produção das culturas em quatro fases fenológicas segundo a observação da ocorrência dos principais processos fisiológicos e fixam a duração dessas fases, em dias, para várias épocas de semeadura e regiões climáticas. A divisão e caracterização das fases fenológicas, segundo os autores, são as seguintes:

- ✓ Fase I – compreendida entre o final da semeadura e o momento em que o cultivo alcança, aproximadamente, 10% de cobertura do solo;
- ✓ Fase II (desenvolvimento vegetativo) – compreendida ente o final da fase I e o momento em que a cultura atinge a cobertura efetiva completa do solo;

- ✓ Fase III – compreendida entre o final da fase II e o início da maturação dos frutos ou início da senescência;
- ✓ Fase IV – compreendida entre o final da fase III e o momento da colheita ou senescência completa.

Quanto à amplitude das fases fenológicas, para a cultura da mamona, os autores mencionam duas regiões climáticas do planeta, sendo que, para regiões de clima semi-árido com semeadura em março e ciclo de 180 dias, fixam amplitudes de 25, 40, 65 e 50 dias para as fases I, II, III e IV, respectivamente. Guardadas as proporções, para um ciclo de 110 dias, caso vertente, ter-se-ia 15, 24, 40 e 31 dias de amplitude para as fases I, II, III e IV, na mesma ordem. Esses valores comparados com os valores encontrados na presente pesquisa, mostram uma variação média de apenas 7%, sendo a maior variação verificada na fase III, que foi de 12%, o que pode ser explicado por ser essa a fase de maior amplitude e complexidade, haja vista, que o limite superior dessa fase é passivo de interpretações diferenciadas em função do estágio da cultura e muito dependente das condições edafoclimáticas de cada região, época de cultivo e condições intrínsecas da própria cultivar.

4.3.2 Crescimento

Os valores referentes à taxa de crescimento e à altura de plantas encontram-se na Figura 21 e os valores referentes à cobertura efetiva do solo pela cultura encontram-se na Tabela 15.

A altura média das plantas ao final do ciclo da cultura ficou em torno dos 2,32 m, contrastando com o valor de altura descrito pela EMBRAPA (2007), para essa cultivar, que é de 1,40 m (Tabela 4). O que pode ser explicado pelo fato das plantas terem sido cultivadas sob regime de irrigação, ao passo que a altura descrita pela Embrapa se refere a cultivo de sequeiro, e pelo aporte de nutrientes disponibilizados à cultura através da adubação (Tabela 5).

O período de maior incremento médio diário na altura das plantas, $5,5 \text{ cm dia}^{-1}$, compreendeu o intervalo entre o 45° e o 52° DAE e de um modo geral o período compreendido entre o 38° e o 64° DAE apresentou as maiores taxas de crescimento diário (Figura 21).

Vale ressaltar que o crescimento das plantas foi interrompido a partir do 88° DAE com a suspensão do suprimento hídrico à cultura, não sendo possível afirmar a que altura as plantas chegariam caso a irrigação tivesse se prolongado, pois, segundo Koutroubas; Papakosta e Doitsinis (2000) a irrigação prolonga o ciclo de vida da mamoneira, aumentando seu porte e conferindo maior crescimento vegetativo. Para Kittock, Williams e Hanway (1967) o crescimento vegetativo da mamoneira é marcadamente afetado pela irrigação.

Segundo Dias (2008) a altura das plantas da cultivar BRS Energia variou de 108,5 a 139,7 cm e foi influenciada significativamente pela lâmina de irrigação, aumentando linearmente com o incremento da lâmina de água aplicada, até o valor correspondente à demanda hídrica da cultura, e diminuindo em função do excesso de água.

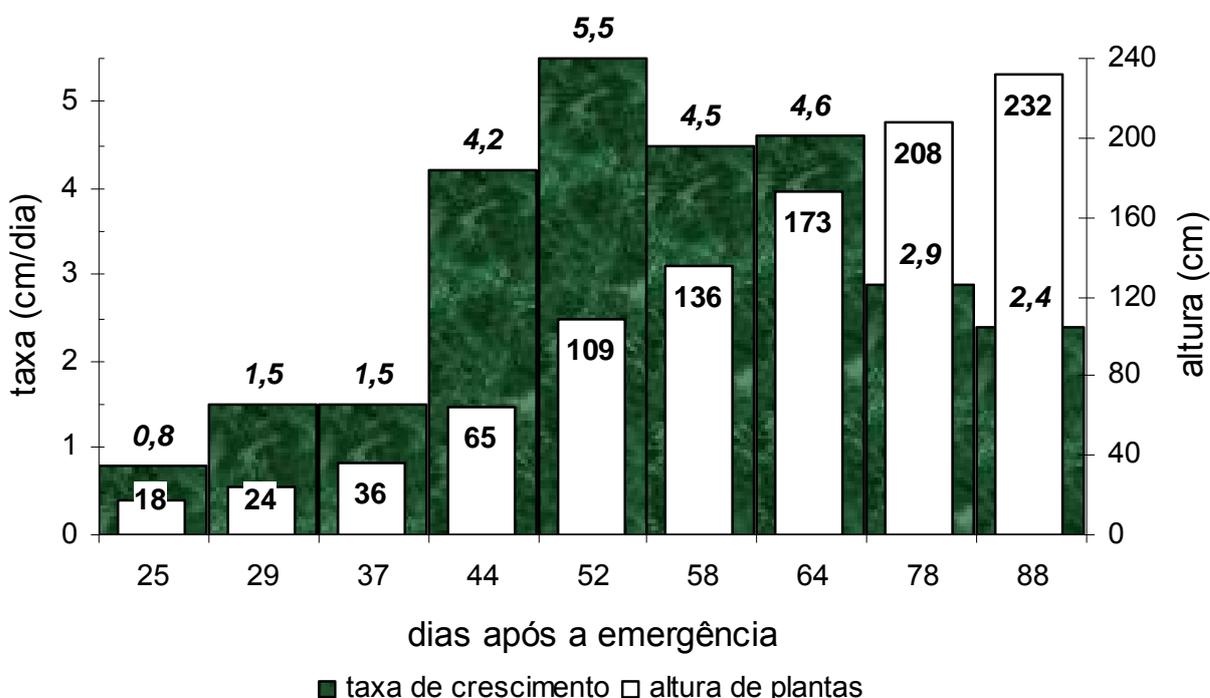


Figura 21. Taxas de crescimento diário e evolução da altura das plantas durante o ciclo da cultura

A evolução do crescimento das plantas durante o ciclo cultural é mostrada na Figura 21, a altura média das plantas nos dias 29, 37, 44 e 52 após a emergência foram superiores às alturas de planta obtidas por Almeida Neto (2009) para as mesmas fases, condições edafoclimáticas, cultivar e ano, mostrando que a mamoneira é uma espécie de elevada complexidade morfológica e fisiológica, conforme Beltrão e Silva (1999), variando muito em seu habito de crescimento. Já para as condições edafoclimáticas de Limoeiro do

Norte-CE, Almeida Neto (2009) obteve valores inferiores de evolução do crescimento durante todo o ciclo da cultura.

A cultura alcançou a cobertura completa do solo aos 58 DAE (Tabela 15) ou 65 DAS, uma vez que o evento da emergência, para efeito de cálculos, no presente estudo foi assumido no 7º DAS quando cerca de 10% da área experimental apresentava plântulas. Comparando-se com os valores obtidos por Almeida Neto (2009) para a mesma cultivar, espaçamento e densidade populacional, constatou-se que nas condições de Mossoró a cobertura do solo foi de 97,8% na 8ª semana após a semeadura (56 DAS). Nas condições de Limoeiro do Norte, a cobertura relativa do solo alcançou apenas 66,85% na 13ª semana após a semeadura (91 DAS). O autor atribui o baixo desempenho nas condições de Limoeiro do Norte ao baixo nível de fósforo disponível no solo, devido à baixa mobilidade desse nutriente.

O período de maior incremento médio diário em relação à cobertura relativa do solo (2,86 pontos percentuais por dia) compreendeu o intervalo entre o 38º e 44º DAE (Tabela 15), ou seja, entre o 45º e 51º DAS, Almeida Neto (2009) relata incremento médio diário de crescimento mais acentuado, nas condições de Mossoró e Limoeiro do Norte, após os 30 DAS.

Tabela 15. Cobertura efetiva do solo e incrementos médios diários durante o ciclo da cultura da mamoneira, cultivar BRS Energia em Mossoró-RN, 2007/2008.

Período (DAE)*	Cobertura do solo (%)		Período (DAE)*	Cobertura do solo (%)	
	Taxa diária	Acumulada		Taxa diária	Acumulada
1 a 25	1,38	34	59 a 64	0,05	100
26 a 29	1,5	40	65 a 78	-	-
30 a 37	1,75	54	79 a 88	-	-
38 a 44	2,86	74	89 a 98	-	-
45 a 52	1,88	89	99 a 103	-	-
53 a 58	1,79	99,73		-	-

*DAE (dias após a emergência), para obter DAS (dias após a semeadura): DAS = 7 + DAE.

A curva ajustada referente à cobertura relativa do solo a partir do 25º DAE, consta na Figura 22. Nota-se, pelo gráfico e pela equação que houve ajuste entre os valores estimados pela equação e os valores médios constatados em campo.

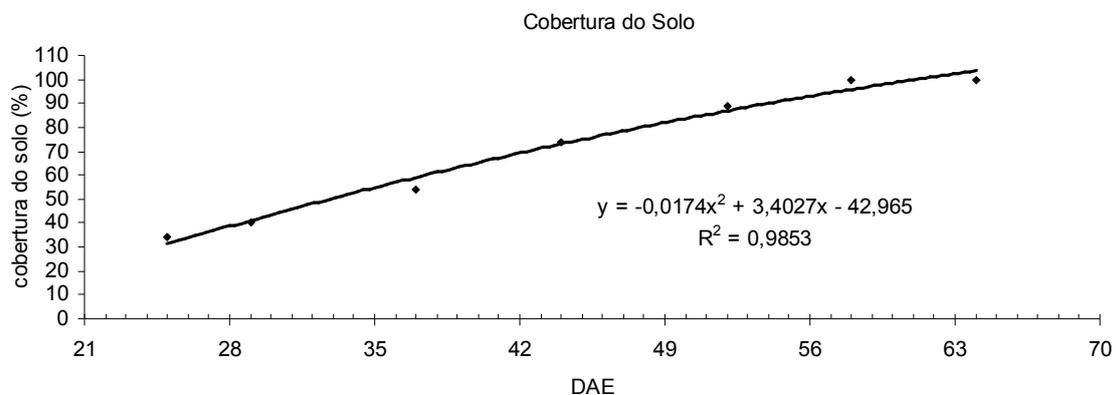


Figura 22. Curva de crescimento (cobertura do solo) da mamoneira, cultivar BRS Energia, do 25º DAE até 100% de cobertura do solo. Mossoró-RN, 2007/08.

4.4 COMPONENTES DA PRODUÇÃO

4.4.1 Comprimento médio dos racemos

Na Tabela 16 são mostrados os valores referentes ao comprimento médio dos racemos de primeira e segunda ordem. O comprimento médio dos racemos primários e secundários foram respectivamente 43,8 cm e 34,7 cm, com intervalos de confiança a 95% de probabilidade, para mais e para menos, de 4,2 cm e 3,0 cm, respectivamente. O comprimento médio para as duas ordens de racemo foi de 39,3 cm, muito inferior ao valor médio preconizado pela EMBRAPA (2007), para a cultivar BRS Energia que é de 60 cm (Tabela 4).

Os valores obtidos neste trabalho são superiores aos obtidos por Dias (2008), quando obteve médias de 36,3 cm e 18,8 cm para o primeiro e segundo racemos respectivamente, no ano de 2006, tendo as lâminas de irrigação influenciado significativamente no comprimento dos racemos, nas duas ordens.

Os valores obtidos neste trabalho também são superiores aos obtidos por Souza (2007), para a cultivar BRS 149 Nordestina, quando obteve comprimento médio dos racemos de 19,0 cm no cultivo de sequeiro e 26,3 cm no cultivo com irrigação suplementar.

Tabela 16. Comprimento médio de racemos de primeira e segunda ordens da mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró-RN, 2007/2008.

Ordem de Racemo	Comprimento do Racemo (cm)	
	Média	Intervalo de confiança 95%
Primária	43,8	± 4,2
Secundária	34,7	± 3,0
Terciária	-	-
Total/média	39,25	± 3,6

4.4.2 Número médio de racemos por planta

Na Figura 23 são mostrados os números médios de racemos produzidos por planta e em cada ordem de racemo com respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade, para mais e para menos. O maior número de racemos por planta foi verificado na ordem de racemos secundários, 2,2 racemos por planta, seguido dos racemos terciários 1,2 racemos por planta. Na ordem de racemos primários obteve-se 0,9 racemos por planta, em função de que, algumas plantas não produziram.

O número total de racemos por planta no presente estudo, 4,3 racemos, foi superior aos valores obtidos por Dias (2008), para a mesma cultivar em dois anos consecutivos. Esse autor relata que no ano de 2005 obteve de 3,0 a 3,5 racemos por planta e em 2006 o número máximo de racemos obtido por planta foi de 3,4 racemos.

O número total de racemos por planta no presente estudo também foi superior ao preconizado pela EMBRAPA que é de 2 a 3 racemos e o número de racemos obtidos na segunda ordem foi inferior ao obtido por Sousa (2008) quando obteve média de 2,8 racemos por planta nessa ordem para a mesma cultivar, densidade de plantas, condições edafoclimáticas e ano. O autor relata ainda que o número médio de racemos secundários por planta cresceu linearmente com o incremento da lâmina de irrigação.

produção de racemos

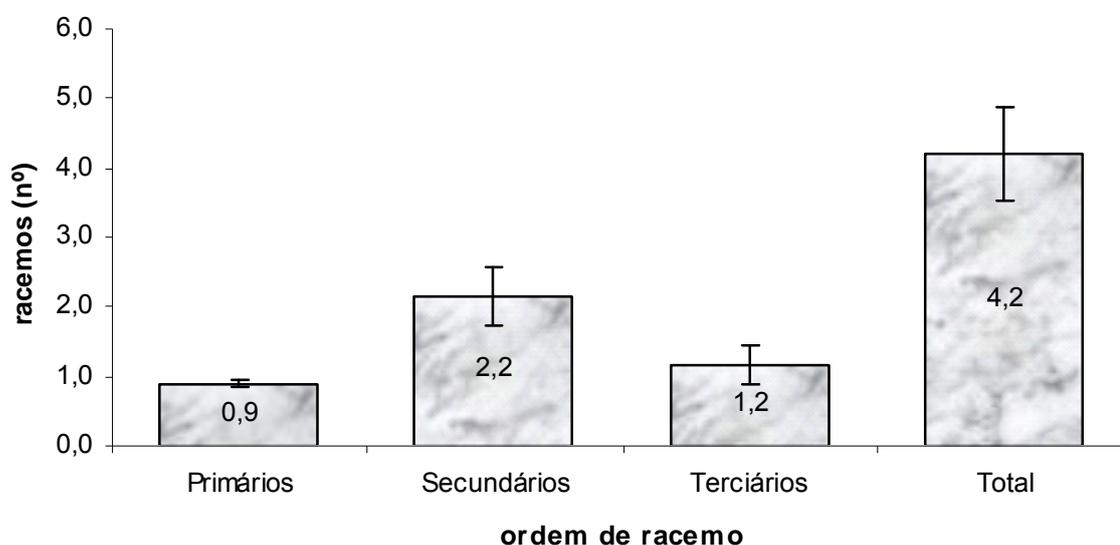


Figura 23. Número médio de racemos por planta em cada ordem de racemo e número total de racemos da mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró – RN, 2007/2008.

4.4.3 Massa de frutos por racemo e por planta

A maior produção em massa de frutos por racemo foi verificada na ordem de racemos primários, 86,3 gramas, seguida pela ordem de racemos secundários, 41,3 gramas, e terciários, 16,3 gramas, com intervalos de confiança a 95% de probabilidade variando de 8,30 a 9,60 gramas para mais e para menos, segundo a ordem de racemo considerada (Tabela 17).

A maior produção em massa de frutos por planta foi verificada na ordem de racemos secundários, 90,90 gramas, em função do maior número de racemos nessa ordem, seguida pela ordem de racemos primários, 77,70 gramas, e terciários, 19,50 gramas, com intervalos de confiança a 95% de probabilidade variando de 7,50 a 8,60 gramas para mais e para menos, segundo a ordem de racemo considerada (Tabela 17).

A menor massa de frutos por racemo, e conseqüentemente, a menor produção por planta, apresentada pela terceira ordem de racemo, pode estar associada ao fato da fertirrigação ter sido encerrada aos 70 e a irrigação aos 88 DAE. Assim sendo, como o surgimento de cachos novos é paralisado pela falta de água e de nutrientes e a mamoneira é uma espécie de crescimento indeterminado, deduz-se que a cultura necessitaria de um período maior para expressar seu potencial produtivo. A esse respeito Souza (2007) relata que com

irrigação suplementar ao término da estação chuvosa obteve contribuição de 20,9% da produção total da mamoneira, dos racemos de quarta ordem, indicando que houve produção de racemos de ordens mais avançadas com o prolongamento do ciclo da cultura para a cultivar BRS 149 Nordeste.

Os valores médios de massa de frutos por racemo, encontrados neste trabalho, superam os valores obtidos por Sousa (2008) para a mesma cultivar e densidade de plantio nas mesmas condições climáticas, quando obteve massa média de 59,0 gramas de frutos por racemo na ordem de racemos primários e 25,6 gramas na ordem de racemos secundários. O autor ainda relata que a massa média de frutos por racemo diminuiu linearmente com o incremento da lâmina de irrigação aplicada a partir da lâmina correspondente a 100% da ETc.

Tabela 17. Número médio de racemos por planta, massa média de frutos por racemo e massa média de frutos por planta da mamoneira, cultivar BRS Energia por ordem de racemos. Mossoró-RN, 2007/2008.

Ordem de Racemo	Nº. de racemos por planta	Massa de frutos em gramas			
		por racemo		Por planta	
		média	I.C	Média	I.C
Primária	0,9	86,30	± 8,60	77,70	± 7,70
Secundária	2,2	41,30	± 9,60	90,90	± 8,60
Terciária	1,2	16,30	± 8,30	19,50	± 7,50

I. C.: intervalo de confiança para 95% de probabilidade

4.5 PRODUTIVIDADE

4.5.1 Racemos, frutos e grãos

Na Tabela 18 são mostrados os dados de produção da mamoneira, cultivar BRS Energia, em produtividade média de matéria seca a 10% de umidade, dos racemos, dos frutos em casca e dos grãos, em kg ha^{-1} , por ordem de racemo e total.

A produtividade total de matéria seca dos racemos foi $5.750,1 \text{ kg ha}^{-1}$ com a maior produtividade na ordem de racemos secundários, $2.773,2 \text{ kg ha}^{-1}$. Para a cultivar BRS 149 Nordeste, Souza (2007) obteve valores que variaram de $5.326,6 \text{ kg ha}^{-1}$ a $12.007,4 \text{ kg ha}^{-1}$,

com média de 7.743,5 kg ha⁻¹ para cultivos sob irrigação suplementar, e média de 3.989,0 kg ha⁻¹ para cultivo de sequeiro.

A produtividade total de matéria seca dos frutos em casca foi 5.190,4 kg ha⁻¹, com maior produtividade também na ordem de racemos secundários, 2.523,7 kg ha⁻¹. As menores produtividades de matéria seca foram registradas na ordem de racemos terciários.

A produtividade de frutos no presente estudo superou a obtida por Sousa (2008), quando obteve produtividade total de 3.852,3 kg ha⁻¹ de frutos, com 1.741,2 kg ha⁻¹ de frutos nos racemos principais e 2.067,0 kg ha⁻¹ nos racemos secundários, para a mesma cultivar e região e lâmina de irrigação de 100% da ET_C.

A maior produtividade média de grãos foi obtida na segunda ordem de racemos, 1.708,50 kg ha⁻¹, seguida pela primeira ordem de racemos com 1.468,6 kg ha⁻¹ e pela terceira ordem com 377,6 kg ha⁻¹.

A produtividade total de grãos foi de 3.554,7 kg ha⁻¹, superando as produtividades obtidas por Sousa (2008), 2.579,5 kg ha⁻¹ de grãos, com 1.183,0 kg ha⁻¹ de grãos nos racemos principais e 1.362,2 kg ha⁻¹ nos racemos secundários, para a mesma cultivar e região e lâmina de irrigação de 100% da ET_C.

A produtividade de grãos no presente trabalho também superou as obtidas por Dias (2008), no cariri cearense, nos anos de 2005 e 2006, 3.361 kg ha⁻¹ e 3.245,8 kg ha⁻¹, respectivamente, equiparou-se à produtividade máxima obtida por Gondim et al. (2004) para o genótipo CSRN 142 no Cariri que foi de 3.494 kg ha⁻¹.

A produtividade obtida no presente trabalho superou a média conseguida por Souza (2007), para a cultivar BRS 149 Nordestina que foi de 2.839,6 kg ha⁻¹, com mínima de 2.199,4 kg ha⁻¹ e máxima de 4.251,2 kg ha⁻¹ para cultivos sob suplementação hídrica via irrigação e média de 1.773,4 kg ha⁻¹ para cultivo de sequeiro.

Tabela 18. Componentes de produção da Mamoneira, cultivar BRS Energia em massa dos racemos, frutos e grãos. Mossoró-RN, 2007/2008.

Ordem de Racemo	Produtividade de massa seca (kg ha ⁻¹)		
	Racemo	Frutos	Grãos
Primária	2.416,4	2.157,8	1.468,6
Secundária	2.773,2	2.523,7	1.708,5
Terciária	560,5	509,0	377,6
Total	5.750,1	5.190,4	3.554,7

4.5.2 Contribuição por ordem de racemo

A Figura 24 mostra a contribuição relativa de cada ordem de racemo na produção total. Os racemos secundários foram os que mais contribuíram, 48,1%, confirmando informações de Corrêa, Távora e Pitombeira (2006); seguidos pelos racemos primários que participaram com 41,3%. Já os racemos terciários contribuíram com 10,6%, sendo, portanto, a menor contribuição no presente estudo.

O presente estudo foi desenvolvido com a cultivar BRS Energia a uma densidade de 27.778 plantas por hectare, Silva et al. (2008 a), estudando o efeito de quatro densidades de plantas (35.460, 39.682, 45.049 e 52.083 plantas ha⁻¹) sobre a produção dessa cultivar, constataram que a menor população proporcionou maior contribuição dos racemos secundários.

Contraditoriamente Vijaya Kumar et al. (1997) afirmam que os racemos primários são os que mais contribuem com o rendimento total da mamoneira, 59%, devido à dominância fisiológica durante o período reprodutivo, bem como, a maior disponibilidade de umidade no início do ciclo da cultura, quando esta é cultivada sob sequeiro e a semeadura ocorre no início das chuvas.

Para Koutroubas; Papakosta e Doitsinis (2000) em condições de sequeiro a participação dos racemos primários aumenta quando comparada aos valores obtidos em regime de irrigação.

Os valores obtidos no presente trabalho, referentes à contribuição de cada ordem de racemo na produção total da mamoneira, corroboram parcialmente com Souza (2007), quando relata que em média os racemos secundários foram os que mais contribuíram com a produção total da mamoneira, cultivar BRS 149 Nordestina, 37,9%, e discordam quando relata que os racemos terciários tiveram a segunda maior contribuição, 31,4%.

Entretanto Koutroubas; Papakosta e Doitsinis (2000) relatam que a contribuição relativa da ordem do racemo não é uma característica estável, e depende das condições ambientais, da época de plantio, da cultivar e do regime de cultivo utilizado, sequeiro ou irrigado.

No presente estudo, os racemos terciários contribuíram com 10,6% da produção total, sendo, portanto, a menor contribuição. Para Kittock e Williams (1968) a redução na contribuição dos racemos terciários e quaternários está relacionada com a diminuição da

estação de crescimento. Ainda segundo Souza (2007) no cultivo de sequeiro os racemos terciários ficaram com a menor contribuição, 20,9% do rendimento total.

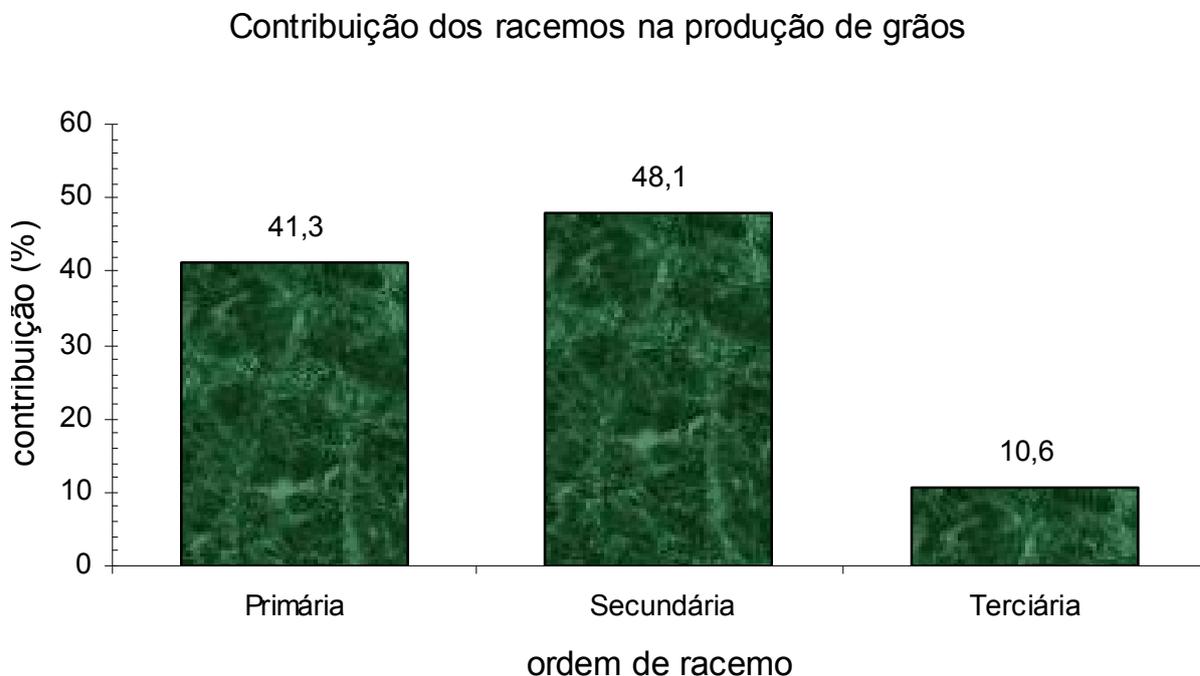


Figura 24. Contribuição relativa das ordens de racemo na produtividade total da mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró – RN, 2007/2008.

4.5.3 Rendimento percentual dos componentes da produção

O rendimento percentual médio dos principais componentes de produção e a massa média de 100 grãos por ordem e racemo e total encontram-se na Tabela 19, sendo que os rendimentos totais de frutos e de grãos em relação a racemos e de grãos em relação a frutos foram, respectivamente, 90%, 62% e 69%.

O rendimento relativo médio de grãos ou percentagem de grãos em massa em relação à massa de frutos, foi de 69% nas três ordens de racemos. A primeira e a segunda ordem contribuíram com 68% cada, e a terceira ordem de racemos com 70%. Souza (2007) obteve rendimento máximo de grãos para a cultivar BRS 149 Nordestina de 67%, entretanto relata que essa variável foi influenciada significativamente pela época de plantio e regime de irrigação.

Para Duke (1983) o rendimento de grãos varia de 65% a 75% dependendo da maturidade do racemo no momento da colheita. Para Savy Filho et al. (1990) o rendimento de grãos para a cultivar IAC 226 é de 66%.

Tabela 19. Rendimento dos principais componentes de produção e massa média de 100 grãos da Mamoneira, cultivar BRS Energia. Mossoró-RN, 2007/08.

Ordem de Racemo	Rendimento médio (%)			Massa de 100 grãos (g)
	Fruto/racemo	Grão/racemo	Grão/fruto	
Primária	89	61	68	25,8
Secundária	91	62	68	26,1
Terciária	91	67	70	24,3
Média	90	62	69	25,4

4.5.4 Massa média dos grãos

Ainda na Tabela 19 são apresentados os valores referentes à massa média de 100 grãos por ordem de racemo e massa média geral de 100 grãos de mamona, cultivar BRS Energia. A média geral da massa de 100 grãos nas três ordens de racemo ficou em torno de 25,4 gramas, muito inferior ao valor preconizado pela EMBRAPA (2007), que é de 40 a 55 gramas segundo aquele órgão de pesquisa (Tabela 4). Entretanto, Koutroubas; Papakosta e Doitsinis (1999) avaliaram diferentes genótipos de mamoneira e verificaram que a massa média de 100 grãos variou entre 33,9 gramas e 36,7 gramas. Para a cultivar BRS 149 Nordeste a massa de 100 grãos é de 68 gramas, conforme informações da EMBRAPA (2002) e Amaral (2003) preconiza que a massa de 100 grãos pode ser classificada em baixa, quando os valores forem inferiores a 40 gramas, média quando os valores forem entre 40 e 50 gramas, e alta quando os valores forem superiores a 50 gramas.

A ordem de racemos terciários foi a que apresentou menor massa de 100 grãos. É provável que esse fato deva-se ao desenvolvimento incompleto dos frutos, pois nessa ordem, muitos racemos foram colhidos ainda verdes. A esse respeito, Lucena et al. (2006) constataram que grãos de racemos colhidos secos, da cultivar BRS Paraguaçu, têm 24% mais massa que os grãos dos racemos colhidos verdes.

Dias (2008) obteve valores médios de massa de 100 grãos superiores aos do presente estudo, variando de 34,7 a 35,4 gramas, no ano de 2005 para cinco lâminas de

irrigação e no ano de 2006 de 34,3 a 36 gramas, para quatro lâminas de irrigação, não havendo efeito significativo das lâminas aplicadas para essa variável.

Os valores obtidos por Sousa (2008) para os racemos primários foram superiores aos obtidos no presente estudo, quando obteve média de 30,5 gramas por 100 grãos, e foram inferiores aos valores obtidos na segunda ordem de racemos quando o autor obteve média de 25,4 gramas por 100 grãos.

Para Souza (2007) o tipo de manejo causou alteração na massa de 100 grãos dos racemos primários que variou entre 54,3 e 63,4 gramas, com média de 59,4 gramas nos 8 tratamentos aplicados. Já para os racemos secundários, média de 65,7 gramas e terciários, média de 65,1 gramas, o autor relata que os manejos aplicados não promoveram alterações significativas na massa dos grãos.

4.5.5 Relação entre o teor de umidade dos frutos e dos grãos

A Figura 25 mostra o comportamento do teor de umidade dos grãos em relação ao teor de umidade nos frutos da mamoneira, cultivar BRS Energia. A equação mostra que houve um ajuste razoável entre os índices de umidade, sendo que a umidade dos grãos tende a ser ligeiramente abaixo da umidade dos frutos, em média 15% para a faixa de umidade dos frutos variando de 4% a 6%. Os dados concordam com Lucena et al. (2006), quando constataram que a umidade em sementes de mamona é sempre menor que a umidade do fruto, possivelmente, porque grande parte da semente é composta por lipídios que não têm afinidade com a água, enquanto as estruturas do fruto têm maior capacidade de absorção de água. Essa diferença, importante no controle do processo de secagem, pode, também, ser considerada para tomada de decisão no processo de armazenamento de frutos em casca.

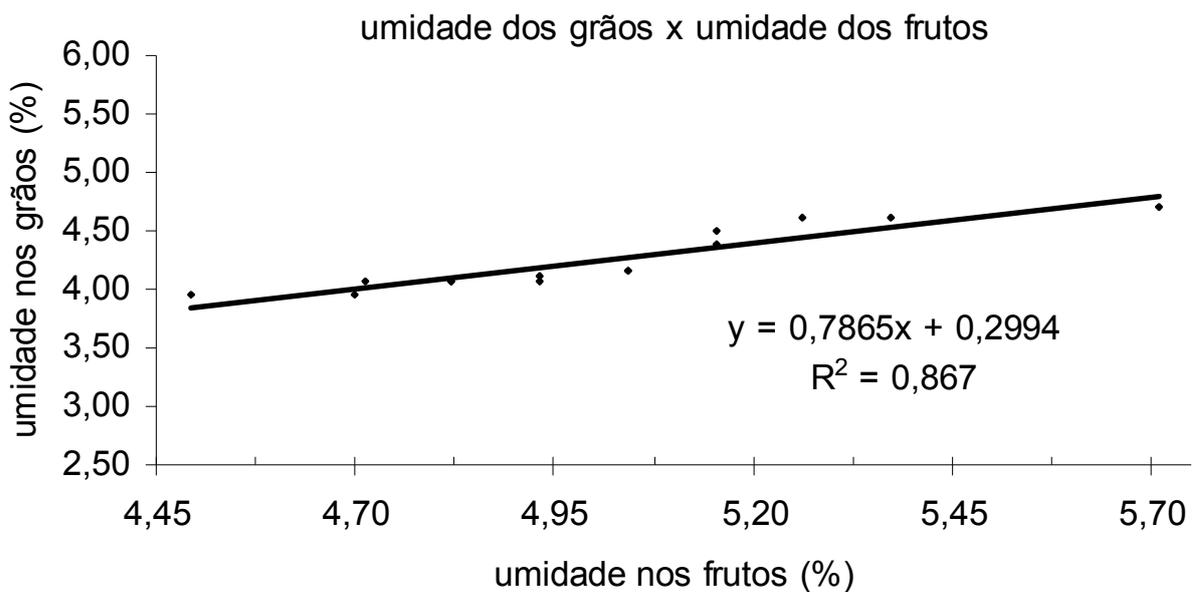


Figura 25. Comportamento da umidade dos grãos em relação à umidade dos frutos da mamoneira, cultivar BRS energia, Mossoró-RN, 2007/08.

4.5.6 Teor de óleo dos grãos

Os teores médios percentuais de óleo dos grãos de mamona, cultivar BRS Energia, em Mossoró-RN, determinados pelo método de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) por ordem de racemo são ilustrados na Figura 26, em massa de óleo por massa de grãos. A ordem de racemos secundários foi a que apresentou a maior média de rendimento de óleo (50,1%). Não houve diferença entre o teor de óleo dos racemos primários (47,1%) e terciários (47,3%) e a média do teor de óleo nas três ordens de racemos foi de 48,2%.

A média do teor de óleo nos grãos (48,2%) obtida no presente trabalho está de acordo com o valor informado pela EMBRAPA (2007), para essa cultivar, que é de 48% (Tabela 4), e com Freire et al. (2006), quando afirma que a maioria das cultivares plantadas comercialmente no Brasil possui teor de óleo variando entre 45% e 50%.

O teor de óleo na ordem dos racemos primários foi inferior aos valores encontrados por Dias (2008), o qual afirma que o teor de óleo dos grãos provenientes dos racemos primários variou de 48,9% a 50,7%, em dois anos consecutivos de estudos, 2005 e 2006. O autor ainda relata não ter confirmado relação crescente ou decrescente com incremento ou decréscimo das lâminas de irrigação aplicadas.

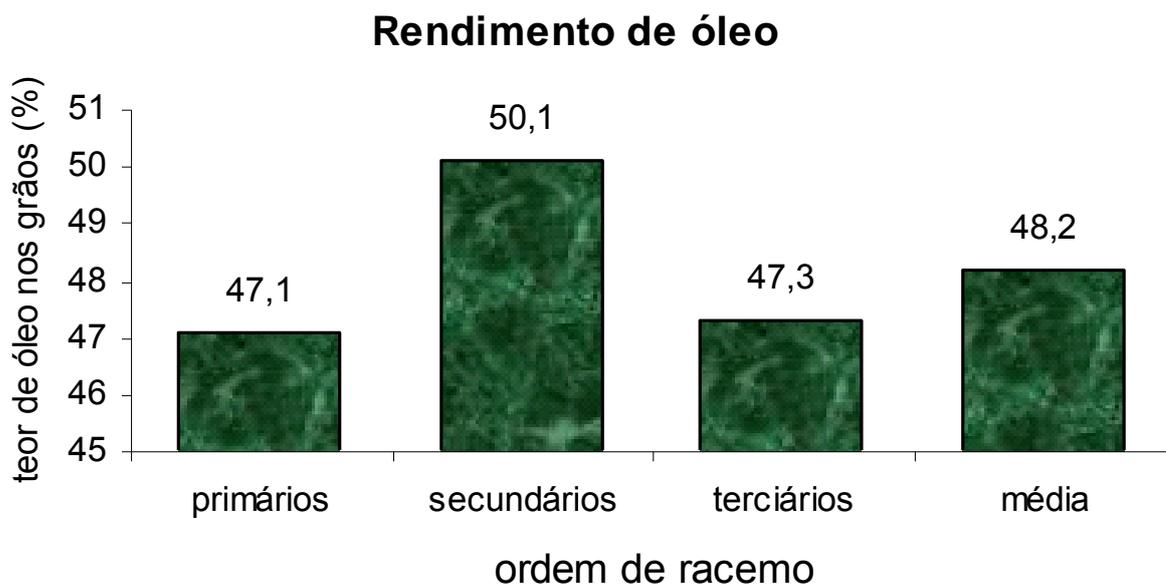


Figura 26. Teor médio de óleo dos grãos de mamona, cultivar BRS Energia, nas três principais ordens de racemo. Mossoró-RN, 2007/08.

Souza (2007) constatou, para a cultivar BRS 149 Nordestina, que os maiores teores de óleo foram verificados nos grãos provenientes dos racemos secundários (46,6%) e terciários (47,0%), superiores estatisticamente aos racemos primários (44,9%).

Confirmando a ordem hierárquica de rendimento de óleo nas categorias de racemo encontrada na presente pesquisa, Távora et al. (1974) verificaram que os grãos provenientes dos racemos secundários e terciários apresentam maior teor de óleo do que aqueles provenientes de racemos primários, e Lins, Távora e Alves (1976), também verificaram que os grãos dos racemos primários possuem conteúdo de óleo inferior aos grãos dos racemos secundários e terciários.

Segundo Koutroubas; Papakosta e Doitsinis (2000) as condições ambientais interferem decisivamente no teor de óleo dos grãos, especialmente temperatura e disponibilidade de umidade, esses autores constataram, em clima mediterrâneo, maior teor de óleo em condições de irrigação, quando comparado com cultivo de sequeiro.

Laureti et al. (1998) estudando o comportamento de cultivares de mamona em condições irrigadas e sob sequeiro, concluíram que o teor de óleo dos grãos foi afetado positivamente pela irrigação, tendo sido obtidos valores médios de até 49,3% de óleo. Contudo, Laureti e Marras (1995) não encontraram variação no teor de óleo entre grãos oriundos de plantas cultivadas em regime de sequeiro e de irrigação.

Kittock, Williams e Hanway (1967) estudaram o efeito da irrigação e de doses de fertilizantes nos componentes do rendimento da mamoneira, e verificaram que o conteúdo de

óleo foi inversamente relacionado com a quantidade de água aplicada, e atribuíram estes resultados ao atraso na maturação dos frutos.

4.5.7 Produtividade de óleo de mamona

A produtividade de óleo de mamona obtida nas três principais ordens de racemo é mostrada na Figura 27, sendo a ordem dos racemos secundários a que apresentou maior produtividade média de óleo ($856,0 \text{ kg ha}^{-1}$) em função do maior teor de óleo e da maior produtividade de grãos obtida nessa ordem. A segunda maior produtividade de óleo foi obtida na ordem dos racemos primários ($691,7 \text{ kg ha}^{-1}$). A ordem dos racemos terciários teve o menor desempenho em relação à produtividade de óleo ($178,6 \text{ kg ha}^{-1}$) em função da menor produtividade de grãos nessa ordem, comparada com as demais.

A produtividade total de óleo de mamona nas três ordens de racemo ($1.726,3 \text{ kg ha}^{-1}$), corrobora com a produtividade registrada por Dias (2008) quando, trabalhando com a mesma cultivar, obteve produtividade mínima de 1.347 e máxima de 1.667 kg ha^{-1} , em função da menor e da maior produtividade de grãos.

Souza (2007), registrou variação de 840 kg ha^{-1} de óleo, para cultivo de sequeiro, a 1.962 kg ha^{-1} para cultivo sob irrigação suplementar, para a cultivar BRS 149 Nordestina e afirma que as maiores produtividades implicaram em elevados rendimentos de óleo. Koutroubas; Papakosta e Doitsinis (2000) relatam estimativa de 1.352 kg ha^{-1} de óleo.

Produtividade de óleo

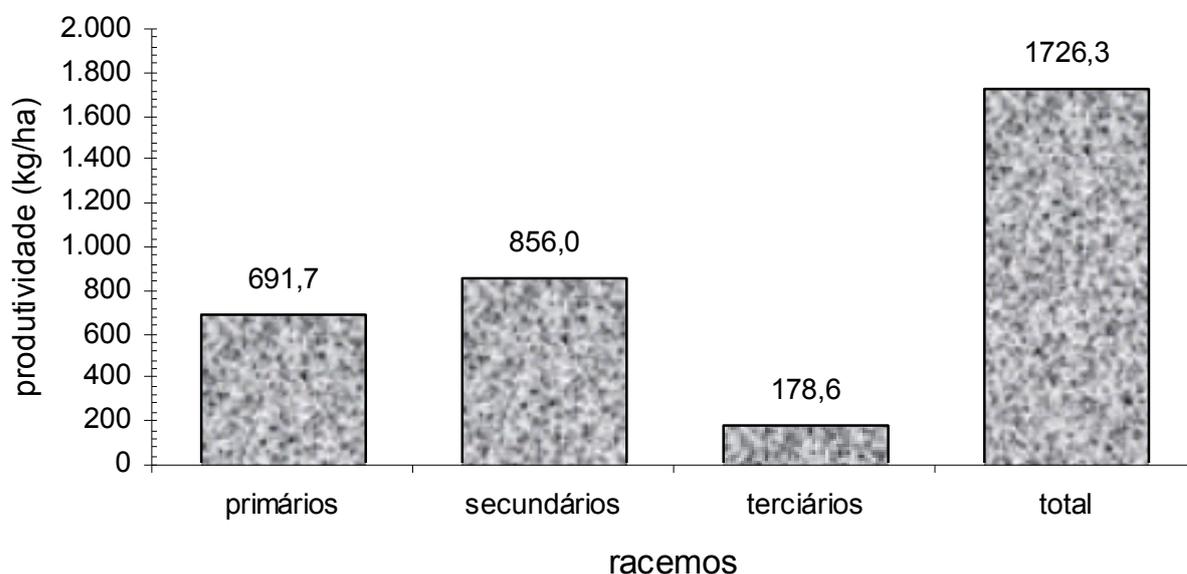


Figura 27. Produtividade de óleo de mamona, cultivar BRS Energia, por ordem de racemo e produtividade total da cultura. Mossoró-RN, 2007/08.

4.6 EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA

A eficiência do uso da água (EUA) pela mamoneira, cultivar BRS Energia, nas condições do presente estudo, é apresentada na Tabela 20, em massa de grãos e em massa de óleo de mamona por volume e por lâmina de água aplicada. O volume total de água aplicado durante o ciclo da cultura, medido em função do tempo de aplicação e da vazão dos emissores, foi de 3.889,8 m³, correspondendo a uma lâmina de água aplicada de 529,65 mm, considerando-se a água disponibilizada via irrigação e a fração calculada da precipitação efetiva.

A EUA em massa de grãos e em massa de óleo foi maior na ordem de racemos secundários em função da maior produção de grãos e de óleo nessa ordem. Considerando-se a produtividade total da cultura, o resultado presente superou o maior resultado obtido por Dias (2008), para a mesma cultivar, nas condições edafoclimáticas de Barbalha no Estado do Ceará e irrigação por aspersão com lâmina de 403,2 mm, que foi de 0,67 kg ha⁻¹ m⁻³. Para as lâminas de irrigação imediatamente inferior (512,7 mm) e imediatamente superior (562,4 mm) à lâmina utilizada no presente estudo, o autor obteve EUA de 0,57 e de 0,53 kg ha⁻¹ m⁻³, respectivamente.

Tabela 20. Eficiência do uso da água (EUA) da Mamoneira cultivar BRS Energia irrigada para as 3 principais ordens de racemos e total em Mossoró-RN 2007/2008.

Ordem racemo	Primários		secundários		Terciários		Total		
	Unidade	grãos	óleo	grãos	óleo	grãos	óleo	grãos	óleo
	kg ha ⁻¹ m ⁻³	0,38	0,18	0,44	0,22	0,10	0,05	0,91	0,44
	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	2,77	1,31	3,23	1,62	0,71	0,34	6,71	3,26

Os resultados obtidos no presente trabalho, em massa de grãos, também superaram os resultados obtidos por Almeida Neto (2009) para a mesma cultivar, sistema de irrigação, local e período de produção entre setembro de 2007 e janeiro de 2008. O máximo valor obtido, nesse caso foi de 0,47 kg ha⁻¹ m⁻³ e o mínimo de 0,34 kg ha⁻¹ m⁻³, da menor para a maior lâmina de irrigação (60% e 140% da ETc), respectivamente.

Para as condições edafoclimáticas de Limoeiro do Norte-CE, com a mesma cultivar e sistema de irrigação, no período de agosto de 2008 a janeiro de 2009, o valor máximo obtido por esse autor foi de 0,29 kg ha⁻¹ m⁻³, para uma lâmina equivalente a 80% da ETc. Em ambos os casos o autor registrou redução da EUA com o incremento da lâmina de irrigação, que no caso de Mossoró-RN foi de 28% e no caso de Limoeiro do Norte-CE, foi de 32%.

Comparando com os resultados obtidos por Sousa (2008), em massa de grãos, para a mesma cultivar, sistema de irrigação, época de cultivo e local, o presente estudo também apresentou resultados superiores, quando os valores alcançados por esse autor variaram de 2,82 kg ha⁻¹ mm⁻¹ a 4,50 kg ha⁻¹ mm⁻¹ da maior para a menor lâmina de irrigação, respectivamente. Para a lâmina de irrigação correspondente a 100% da ETc o autor relata EUA de 3,98 kg ha⁻¹ mm⁻¹, portanto muito inferior ao resultado encontrado no presente estudo (Tabela 20).

5 CONCLUSÕES

A mamoneira cultivar BRS Energia, nas condições do presente estudo, apresentou crescimento superior ao crescimento relatado na literatura para essa cultivar, atingindo altura média de 2,32 metros aos 88 DAE, sendo que o crescimento foi interrompido pela suspensão da irrigação.

A cobertura total do solo ocorreu aos 58 DAE, com a maior taxa, no período entre 38 e 44 DAE e a menor, no período de 1 a 25 DAE. O declínio da cultura se deu a partir do 77º DAE, embora continuasse crescendo verticalmente.

Os racemos secundários foram os que mais contribuíram com a produtividade de grãos e de óleo, em função do maior número de racemos e conseqüentemente, de grãos, e maior teor de óleo nessa ordem.

A taxa semanal de evapotranspiração da cultura (ETc), estimada pelo método do balanço hídrico do solo (BHS), apresentou valor máximo no período compreendido entre a 9ª e a 10ª semana após a semeadura, contrastando com o período de valor máximo estimado pelo método FAO Penman-Monteith que foi na 8ª semana após a semeadura.

A curva do Kc ajustado apresentou valor máximo no período entre a 9ª e a 10ª semana após a semeadura, mais precisamente na semana 9,75, corroborando com o valor máximo da ETc estimada pelo balanço hídrico do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., SMITH, M. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper. no 56. FAO. Rome, Italy, 318 p. 2006.

ALMEIDA NETO, A. J. **Crescimento, fisiologia e produção de mamona submetida a diferentes lâminas de irrigação e espaçamentos nas condições da chapada do Apodi**. 2009. 107 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

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 Agrônomicas, Botucatu.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; KLAR, A. E. Produtividade da alface em função do potencial matricial de água no solo e níveis de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 27-31, 1996.

ANGELY, J. **Flora analítica e fitográfica do Estado de São Paulo**. São Paulo: Ayrton, 1970. 330p. v.2.

AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2001. cap. 5, p. 63-76.

AZEVEDO, D. M. P. de; NÓBREGA, M. B. da; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Manejo cultural. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2001. cap. 6, p. 121-160.

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. **Revista brasileira de oleaginosas e fibrosas**, Campina Grande: Embrapa Algodão, v. 2, n. 3, p. 193-202. set./dez. de 1998.

AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S.; BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J.; NÓBREGA, L. B. da; DANTAS, E. S. B.; ARAÚJO, J. D. de. **Período crítico de competição entre plantas daninhas e a mamoneira**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1997a, 6p. (Comunicado Técnico, 44).

AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; BATISTA, F. A. S.; LIMA, E. F.; DOURADO, V. **Definição do espaçamento e da densidade de plantio da mamoneira para a região produtora de Irecê**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1997b, 6p. (Pesquisa em andamento, 46).

AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S. **Efeito da população de plantas no rendimento da mamoneira.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 1997c, 5p. (Comunicado Técnico, 54).

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.

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.1981.

BARRETO, A. N.; AMARAL, J. A. B. Quantificação de água necessária para a mamoneira irrigada com base nas constantes hídricas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. D.; OLIVEIRA, J. M. C. Efeito do déficit de água no solo sobre a relação raiz/parte aérea nas cultivares de mamona BRS 149 E BRS 188. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

BELTRÃO, N. E. de M. **Sistema de produção de mamona em condições irrigadas: Considerações gerais.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006, 14 p. (Documentos, 132).

BELTRÃO, N. E. de M.; CARDOSO, G. D. **Informações sobre o sistema de produção utilizados na ricinocultura na região Nordeste, em especial o semiárido e outros aspectos ligados a sua cadeia.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006, 6 p. (Comunicado Técnico, 213).

BELTRÃO, N. E. de M.; ARAÚJO, A. E. de; GONÇALVES, N. P.; AMARAL, J. A. B. do; SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D. **Ordenamento ambiental e época de plantio da mamoneira (*Ricinus communis*) para a região Norte de Minas Gerais.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004, 6 p. (Comunicado Técnico, 207).

BELTRÃO, N. E. de M. **Crescimento e desenvolvimento da mamoneira (*Ricinus communis* L.).** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003, 4 p. (Comunicado Técnico, 146).

BELTRÃO, N. E. de M.; SOUZA, J. Z.; SANTOS, J. W.; JERÔNIMO, J. F.; COSTA, F. X.; LUCENA, A. M. A. de; QUEIROZ, U. C. de. Fisiologia da mamoneira, cultivar BRS 149 Nordestina na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. **Revista brasileira de oleaginosas e fibrosas**, Campina Grande: Embrapa Algodão, v. 7, n. 1, p. 659-664. jan./abr., 2003.

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. M. Mamoneira e seu cultivo no Nordeste brasileiro: excelente opção para a agricultura familiar, em especial no Estado da Paraíba. **Bahia Agrícola**, v. 4, n. 2, nov. 2001.

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

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 95p. (IPAGRO. Boletim Técnico, 7).

BERNARDO, S; SOARES, A. A; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed., Viçosa, UFV, 2005.

BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. Washington: USDA, 1950. 48p.

CARMO FILHO, F.; OLIVEIRA, O. F. **Mossoró**: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, 1995. 62p. (Coleção Mossoroense, série B).

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

CORRÊA, M. L. P; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B. Comportamento de cultivares de mamona em sistemas de cultivo isolados e consorciados com caupi e sorgo granífero. **Revista de Ciências Agrônômicas**, Fortaleza, v. 37, n. 2, p. 200-207. 2006.

CURI, S.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Evapotranspiração e coeficiente de cultura na mamoneira (*Ricinus communis* L.), em Santo Antônio do Leverger-MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

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.

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 Physiology**, v. 99, p. 1426-1434, fev.1992.

DIAS, A. F. S.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; PORTO FILHO, F. Q.; FIGUEIREDO, V. B.; MEDEIROS, J. F. Análise da partição e do comportamento dos componentes de saldo de radiação sobre um cultivo de mamona irrigada no semi-árido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2009, Juazeiro. **Anais...**Juazeiro: SBEA, 2009. 1 CD-ROM.

DIAS, J. M. **Eficiência de uso de água, crescimento, desenvolvimento e rentabilidade da cultura da mamona irrigada**. 2008. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

DIAS, J. M.; SILVA, S. M. S.; GONDIM, T. M. de S.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M.; BEZERRA, J. R. C.; VASCONCELOS, R. A. de. **Efeitos de diferentes quantidades de água de irrigação e de densidades populacionais na cultura da mamona.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 1 CD-ROM.

DOORENBOS, J.; PRUIT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** ONU-FAO, (Irrigation and Drainage Paper, 24). Roma, 1977

DOURADO NETO, D.D.; SPAROVEK, G.; FIGUEIREDO, L.G.M.J.; FANCELLI, A. L.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS, S.L.P. Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço hídrico no solo. Santa Maria: **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v.12, n.2, p.359-367, 2004.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J.W.; PARLANG, M. B. **Programa SWRC** (Version 1.00): Soil-Water Retention curve (Software). Piracicaba: ESALQ; Davis: University of California, 1985.

DUKE, J. A. **Ricinus communis L. Handbook of Energy Crops.** Purdue, 1983. Disponível em: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Ricinus_communis.html. Acesso em: 28 jun. 2008.

EMBRAPA. **Cultivares.** Disponível em: www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/cultivares. Acesso em 05 dez. 2007.

EMBRAPA ALGODÃO. **BRS-149 Nordestina.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 1 folder.

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.

EPPERSON, J. E.; HOOK, J. E.; MUSTAFÁ, Y. Dynamic programming for improving irrigation scheduling strategies of maize. **Agricultural Systems**, v. 42, n. 1, p. 85101, 1993. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 02 dez. 2008.

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). **O Agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

FREIRE, R. M. M. Ricinoquímica. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2001. cap. 13, p. 295-336.

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. 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.

GRANGEIRO, R. S. B. **Balço de energia, evapotranspiração e variáveis de crescimento do algodoeiro semiperene, cultivar BRS – 200 marrom**. 2004. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

HARGREAVES, G. H. **Water requirements manual for irrigated crop, and rainfed agriculture**. Logan: Utah State University, 1977. 41p.

HECKENBERGER, U.; ROGGATZ, U.; SCHURR, U. Effect of drought stress on the cytological status in *Ricinus communis*. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 49, n. 319, p. 181-189, Feb. 1998. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2008.

HEMERLY, F. X. **Mamona: Comportamento e tendências no Brasil**. Brasília: Embrapa - Departamento de Informação e Documentação. 1981. 63p.

HIKWA, D.; MUGWIRA, L. M. Response of castor cultivar “Hake” to rate and method of nitrogen fertilizer application in different environments of Zimbabwe. **African Crop Science Journal**, v. 5, n. 2, p. 175-188, mar. 1997. Disponível em: <http://biolineinternational>. Acesso em: 25 jan. 2008.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria>. Acesso em: 27 setembro de 2007.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332p.

JENSEN, M.E. Consumptive of water and irrigation water requirements. New York: ASCE, 1973. 215p.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 89, p. 15-41, 1963.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. California: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133p.

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

KITTOCK, D. L.; WILLIAMS, J. H.; HANWAY, D. G. Castorbean yield and quality as influenced by irrigation schedules and fertilization rates. **Agronomy Journal**, v. 59, p. 463-467, sep./oct. 1967.

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

KOUTROUBAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K.; DOITSINIS, A. Adaptation and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate. **European journal of agronomy**, v. 11, p. 227-237, 1999.

LANGE, A.; MARTINES, A. M.; SILVA, M. A. C. da; SORREANO, M. C. M.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 61-67, jan. 2005.

LAURETI, D.; FEDELI, A. M.; SCARPA, G. M.; MARRAS, G. F. Performance of castor (*Ricinus communis* L.) cultivars in Italy. *Industrial Crops and Products*, **Elsevier**, v. 7, p. 91-93, 1998.

LAURETI, D.; MARRAS, G. F. Irrigation of castor (*Ricinus communis* L.) in Italy. *Eur. J. Agron.*, **Elsevier**, v. 4, p. 229-235, 1995.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Departamento de Física e Meteorologia (ESALQ/USP). Piracicaba, 497p., 1995.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, I. de F. da; SOUZA, C. de; LIRA C. A. B. de O. Avaliação dos componentes do balanço de energia num solo cultivado com mamona no Brejo paraibano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

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.). **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 6, n. 1/2, p. 91-98. 1976.

LOPES, S.J.; NETO, D.D.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS,L.P.;BRUM, B.; COUTO,M.R.M. Ajuste de modelos para descrever a fitomassa seca da parte aérea na cultura do milho em função de graus-dia. Santa Maria: **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v. 13,n. 1,p. 73-80, 2005.

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

LUCENA, A. M. A.; SEVERINO, L. S.; FREIRE, M. A. O.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. M. Umidade e peso seco da semente e do fruto de mamona brs paraguaçu colhidos em três estádios de maturação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2. **Anais...** Aracaju. 2006(CD-ROM).

MAIA, A. C. S.; TEIXEIRA, J. C.; LIMA, S. M.; FERREIRA, C. V.; STRAGEVITCH, L. Estudo do impacto da adição do biodiesel de mamona ao óleo diesel mineral sobre a propriedade viscosidade cinemática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 1 CD-ROM.

MIRANDA, J. H. ; GONÇALVES, A. C. A.; CARVALHO, D. F. Água e solo. In: In: MIRANDA, J. H., PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP.2001.

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

MOTA, J. H. **Efeito do cloreto de potássio via fertirrigação na produção de alface americana em cultivo protegido**. 1999. 65f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Faculdade de Agronomia, UFLA, Lavras- MG.

MOURA, M. S. B. **Consumo hídrico, produtividade e qualidade de fruto da goiabeira irrigada na região do submédio São Francisco**. 2005. 122p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

MOURA, M. S. B. **Fenologia e consumo hídrico da goiabeira irrigada**. 2001. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Universidade federal da Paraíba, Campina Grande.

OLIVEIRA, M. B. L. **Balanço de energia e caracterização do microclima do Pantanal Sul-Matogrossense em períodos de cheia e de seca**. 2004. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Universidade federal da Paraíba, Campina Grande.

OLSNES, S. The history of ricin, abrin and related toxins. **Toxicon**, v. 44, p. 361-370, 2004.

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 mar. 2008.

PENMAN, H. L. Evaporation: Introduction survey. Netherlands. **Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v.4, n.1, p.9-29, 1956.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings Royal Society**, London. Serie A, v. 193,p. 120-45, 1948.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. ESALQ, Piracicaba, 1997.

PEREIRA, A. R. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia, 1992. 51p.

POPOVA, G. M.; MOSHKIN, V. A. Botanical and biological properties of castor: botanical classification. In: MOSHKIN, V. A. **Castor**. New Delhi: Oxonian Press, 1986. 315p.

PRIESTLEY,C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**., v. 100, p. 81 2, 1972.

PRUITT, W.O.; LAURENCE, F.J.; VON OETTINGEM, S. Water use by crops as affected by climate and plant factors. **California Agriculture**, Berkeley, v.26, p.10-14, 1972.

REICHARDT, K.; TIMM L.C.; **Solo, planta e atmosfera:** Conceitos, processos e aplicações. Barueri : Manole, 2004.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** Editora Manole LTDA, 188p. 1990.

REICHARDT, K. **Água na produção agrícola.** p. 51 – 65, 1978.

RODRIGUES, R. F. de O.; OLIVEIRA, F. de; FONSECA, A. M. As folhas de palma Christi – *Ricinus communis* L. Euphorbiaceae Jussieu. Revisão de conhecimentos. **Revista Lecta**, Bragança Paulista, v. 20, n. 2, p. 183-194, jul./dez. 2002.

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

SANTOS, R. F. dos; KOURI, J. Panorama mundial do agronegócio da mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 1 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. 2008.

SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V.; VEIGA, R. F. de A.; CAMPANA, M. P.; PETTINELLI JUNIOR, A. Novo cultivar de mamona: IAC-226 (Tabary). **Bragantia**, Campinas, v. 49, n. 2, p. 269-280, 1990.

SCHURR, U.; HECKENBERGER, U.; HERDEL, K.; WALTER, A.; FEIL, R. Leaf development in *Ricinus communis* during drought stress: dynamics of growth processes, of cellular structure and of sink-source transition. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 51, n. 350, p. 1515-1529, sep. 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science>. Acesso em: 11 out. 2008.

SEDIYAMA, G.C.; RIBEIRO, A.; LEAL, B.G. Relações clima-água-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998. Poços de Caldas. **SIMPÓSIO MANEJO DE IRRIGAÇÃO.** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.46-85.

SENTELHAS, P.C. Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.7, n.1, p.111-115, 2003.

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).

SEVERINO, S. L.; MILANI, M.; MORAES, C. R. de A.; GONDIM, T. M. de S.; CARDOSO, G. D. Avaliação da produtividade e teor de óleo de dez genótipos de mamoneira cultivados em altitude inferior a 300 metros. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 2, p. 188-194, dez 2006.

SILVA, S. M. S.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S.; DIAS, J. M.; NASCIMENTO, R. T. Produtividade da cultivar BRS Energia em função da lâmina de irrigação e populações de plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA MAMONA, 3, 2008 a, Salvador. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008 a. CD-ROM.

SILVA, S. M. S.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. M.; GODIM, T. M. S.; SEVERINO, L. S.; CONCEIÇÃO, J. L. A. Influência da lâmina de irrigação e população de plantas em componentes de produção da mamona cultivar BRS Energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA MAMONA, 3, 2008 b, Salvador. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008 b. CD-ROM.

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, W. J. da. Aptidões climáticas para as culturas do girassol, da mamona e do amendoim. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 7, n. 82, p. 24-28, 1981.

SOUSA, P. S. **Produção de mamona sob diferentes lâminas de irrigação e densidades de plantio nas condições climáticas de Mossoró, RN.** 2008. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Eds.). **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artimed, 2004. 719p.

TÁVORA, F. J. A. F.; BARBOSA FILHO, M. Antecipação de plantio, com irrigação suplementar, no crescimento e produção da mandioca. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 29, n. 12, p.1915-1926, dez. 1994.

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

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

THORNTWAITE, G.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographycal Rev.**, New York, v.38, n.1, p.55-94. 1948.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil science society of America Jousnal**, v.44, p.892-898, 1980.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 532p. Brasília: 2006.

VASCONCELOS, M. A. C. de. **Informações sobre o cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.).** Fortaleza: EMATECE, 1990. 19p.

VEIGA, R. F. A.; SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V. **Descritores mínimos para caracterização e avaliação de mamoneira (*Ricinus communis* L.) aplicados no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, IAC, 1989, 16p. (Boletim técnico, 125).

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: 23 mai. 2008.

VILLA NOVA, N. A.; REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A.G.; VILLA NOVA, N.A.; REICHARDT, K.; MAGALHÃES, P.C.; CLEARY, R.W. **Engenharia hidrológica**. Rio de Janeiro: ABRH, 1989. Cap. 3, p. 145-97. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 2).

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

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

ZIMMERMAN, L. H. **Castor beans**: a new oil crop for mechanized production. Davis, California: Advances in Agronomy, 1958. p. 258-287.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)