

**RESPOSTA FITOTÉCNICA E ECONÔMICA DA  
MAMONEIRA À IRRIGAÇÃO EM CULTIVO DE  
SAFRINHA**

**GERVÁSIO FERNANDO ALVES RIOS**

**2012**

**GERVÁSIO FERNANDO ALVES RIOS**

**RESPOSTA FITOTÉCNICA E ECONÔMICA DA MAMONEIRA À  
IRRIGAÇÃO EM CULTIVO DE SAFRINHA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador  
Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Rios, Gervásio Fernando Alves.

Resposta fitotécnica e econômica da mamoneira à irrigação em cultivo de safrinha / Gervásio Fernando Alves Rios. – Lavras : UFLA, 2012.

199 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Luiz Gonsaga de Carvalho.

Bibliografia.

1. *Ricinus communis* L. 2. Estádio fenológico. 3. Índice de área foliar. 4. Evapotranspiração. 5. Irrigação localizada. 6. Grãos chochos. 7. Estudo econômico. I. Universidade Federal de Lavras.  
II. Título.

CDD – 631.587

**GERVÁSIO FERNANDO ALVES RIOS**

**RESPOSTA FITOTÉCNICA E ECONÔMICA DA MAMONEIRA À  
IRRIGAÇÃO EM CULTIVO DE SAFRINHA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 1º de novembro de 2012

Prof. Dr. Daniel Furtado Ferreira	UFLA
Prof. Dr. Édio Luiz da Costa	UFSJ
Prof. Dr. Pedro Castro Neto	UFLA
Prof. Dr. Ricardo Pereira Reis	UFLA

Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

Ao nosso Deus, pelo bom encontro e a luz do Sol.

Aos meus avôs (*in memoriam*), Manuel José Caxito e Evilásia Alves da Mata, e Gervásio Gonçalves Rios e Joselina Maria de Jesus, pelo legado e grande esforço em possibilitar aos seus, numa época tão dura da história recente desse País, o mínimo de estudo e conhecimento.

Aos meus tios, com todo carinho; a minha tia, madrinha e incentivadora, Maria das Graças Alves Oliveira, pela dedicação e ajuda.

Aos meus irmãos, amigos e familiares, pela paciência e experiências vividas.

Aos professores que, com muita luta e dedicação, orientam para o caminho da luz.

**OFEREÇO**

Aos meus pais, Gervásio e Sena, pelo amor e a todos aqueles que, antes de mim, vieram, sonharam e foram além,

**DEDICO**

*A prática faz o mestre; o desafio, a grandeza espiritual; a escolha de nossos amigos, nossa fortaleza e a identificação de nossos inimigos, a sabedoria de viver.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo bom encontro e aos meus pais.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de realização do curso. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento do projeto (Nº. do processo: CNPq 479004/2010-2). À Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Financiador de Estudos e Projetos (FINEP), pelo auxílio e disponibilidade de recursos.

Ao professor Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho, pela orientação, compreensão e por todos os esforços dedicados à execução deste trabalho e aos coorientadores Fátima C. Rezende, Geraldo M. Pereira, Antônio C. Fraga e Pedro C. Neto, pela atenção e ajuda. Aos professores Alberto Colombo, Elio L. da Silva, Jacinto de A. Carvalho, Luiz A. Lima, Maria L. M. de Carvalho, Daniel F. Ferreira e Ricardo P. Reis, pela atenção, sugestões e desprendimento em ajudar. Ao técnico Agrícola Janir Guedes Carvalho e funcionários da Epamig de Lavras, com muito carinho, pelo companheirismo e ajuda tão importante na execução do experimento, extensivos aos estagiários e bolsistas de iniciação científica Pietros A. B. dos Santos, Samuel W. Rezende, Lucas Centurion, Rodrigo V. Moreira, Lucas C. de Souza, Daniela C. Rodrigues, Wesley R. Soler e funcionários José Luiz M. Rodrigues e Oswaldo F. de Carvalho, do Setor de Água e Solo da UFLA e aos amigos Bruno Lima Soares; Greice Oliveira, da secretaria de pós-graduação; Pedro P. Pereira e Josemar Silva, do Setor de Olericultura da UFLA; Doroteo de Abreu, Mayesse A. da Silva e ao professor Moacir de S. Dias Jr., chefe do Laboratório de Física do Solo; José Maurício da Silva e Édson M. Correia, do Setor de Cafeicultura da UFLA; Mário José Oliveira, do Setor de Grandes Culturas da UFLA; Bárbara L. O. Araújo e Douglas, do grupo G-óleo; Dalva, Elza e Ebert, do Setor de Sementes da UFLA, e Sandra Abreu, Eder P. Isquierdo, Valdiney C. Siqueira, Rodrigo S. R. Pinto e professor Flávio M. Borém, chefe do Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas da UFLA. A minha namorada, Fabiana Carmanini Ribeiro, por estar sempre do meu lado, pelo incentivo, paciência, ajuda e companheirismo. Aos colegas de futebol do SindUFLA, Sr. Édson, Delson e Vitor; aos meus vizinhos Antonina (Bizica), Lila, Inácio, Adélia, Joana, Rubinho e Rose; aos colegas de pós-graduação Arinaldo de Sá Jr., Bruno L. Soares, Bruno M. Silva, Eder P. I.; Eduardo C. Oliveira, Henrique F. E. de Oliveira, João J. da Silva Jr., Joaquim A. de Lima Jr., José A. do V. Sant'Ana, Juliana Lima, Léo F. Ávila, Lessandro C. Faria, Luciano O. Geisenhoff, Luisa P. Figueiredo, Marcos A. Z. Palma, Rafael O. Faria, Renato C. Vilas Boas, Sádjo Danfa, Valdiney C. S., Welington G. da Silva, Wezer L. Miranda e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, *meu muito obrigado!*

## **BIOGRAFIA**

GERVÁSIO FERNANDO ALVES RIOS, filho de Gervásio Flores Rios e Sena Alves Rios, nasceu em 25 de abril de 1978, próximo à Unai, MG, cidade onde residiam seus pais e também sua família pelo lado materno. Residiu em outras cidades de Minas Gerais, como Pedrálva, Caldas, Sagarana, Arinos, Itacarambi e, em 1994, em Riachão das Neves, BA, onde completou o ensino primário, na Escola Municipal Dr. Cleriston Andrade.

De volta à sua cidade natal, concluiu o ensino fundamental em 1997, quando se mudou para Florestal, MG e, no ano seguinte, ingressou no curso Técnico em Agropecuária, concomitante ao ensino médio, na Escola Técnica Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal (CEDAF), completando-o em janeiro de 2001.

No mesmo ano, transferiu-se para Viçosa, MG, onde, em março de 2002, ingressou no curso de graduação em Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), colando grau em agosto de 2007. Ingressou, consecutivamente, no mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, na Universidade Federal de Lavras (UFLA), concluído em fevereiro de 2009. Nesse mesmo ano foi admitido no Doutorado do mesmo programa e área de concentração, defendendo a presente tese em novembro de 2012.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Cultura da mamona.....	4
2.2 Estádios de desenvolvimento e escala fenológica.....	11
2.3 Análise quantitativa do crescimento e produtividade.....	16
2.4 Cobertura do solo e índice de área foliar.....	18
2.5 Evapotranspiração e coeficiente de cultura.....	25
2.6 Função de produção e análise econômica.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Características da área experimental e cultivar IAC 2028.....	33
3.2 Plantio e tratos culturais.....	40
3.3 Tratamentos e delineamento estatístico experimental.....	42
3.4 Sistema de irrigação e manejo.....	44
3.5 Evapotranspiração.....	49
3.6 Variáveis vegetativas avaliadas periodicamente.....	50
3.7 Variáveis componentes de produção.....	59
3.8 Variáveis de produtividade da cultura.....	63
3.9 Função de produção, análises técnica e econômica.....	63
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.1 Condições meteorológicas e de controle dos tratamentos.....	73
4.2 Variáveis vegetativas de fitomassa e área foliar.....	92
4.3 Variáveis vegetativas fenológicas dos tratamentos.....	102
4.3.1 Altura e número de plantas com ramos laterais.....	103
4.3.2 Área foliar unitária por estratos e número de folhas por planta.....	105
4.3.3 Índice de área foliar e fração de cobertura do solo.....	112
4.4 Variáveis componentes de produção dos tratamentos.....	118
4.4.1 Número de racemos e grãos chochos.....	118
4.4.2 Produtividades de grãos particionada e teor de óleo.....	123
4.4.3 Superfície de resposta.....	139
4.5 Análises técnica e econômica dos fatores de produção.....	144
4.5.1 Lâminas de água dentro de cada época de suspensão da irrigação.....	146
4.5.2 Épocas de suspensão dentro de cada lâmina da irrigação.....	151
5 CONCLUSÕES.....	163
REFERÊNCIAS.....	167
ANEXOS.....	179

## RESUMO

Este trabalho foi realizado com a mamoneira, 'IAC 2028', irrigada por gotejamento, de março a outubro/2011, sob as condições climatológicas de Lavras, MG, objetivando-se estimar: a) estádios, fases fenológicas e parâmetros de irrigação; b) índice de área foliar, IAF, por diferentes métodos; c) efeito dos fatores água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E) sobre o desenvolvimento vegetativo, componentes de produção e produtividades e d) eficiência técnica e econômica, e a rentabilidade de cultivo dos vários níveis desses fatores. O experimento foi conduzido em delineamento por blocos casualizados e esquema fatorial 5x5+1 dos fatores A e E com cultivo de sequeiro A0E0 (testemunha) e três repetições, sendo A0, A1, A2, A3, A4 e A5 a 0%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da lâmina de água de reposição de referência necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo e E0, E1, E2, E3, E4 e E5 as suspensões da irrigação nos estádios correspondentes, respectivamente. Foram 78 parcelas, cada uma de 16 plantas espaçadas de 0,75 x 1,2 m entre fileiras e 4 plantas úteis centrais, mais 39 parcelas de referência A3E5 utilizadas para amostragem destrutiva de planta, avaliadas periodicamente, dias após a semeadura (DAS), para mensuração de variáveis das plantas. IAF foi medido e estimado, com o uso de imagens digitais, por meio de 5 metodologias de amostragem não destrutiva. Concluiu-se que: a) a caracterização dos estádios foi adequada às fases fenológicas I, II, III e IV do ciclo de 220 DAS; A4 correspondeu à fração de esgotamento de água no solo ( $f = 0,43$ ) à tensão de 14 kPa e A4E4 destacou-se com maior produtividade total (PT) e capacidade evapotranspirométrica (ETc); máximos ETc ( $3,4 \text{ mmd}^{-1}$ ) e coeficiente da cultura ( $Kc = 0,87$ ) foram obtidos no estádio E3 para A3E5; b) os IAF obtidos pelos cinco métodos foram coerentes com as fases I, II, III e IV e mostraram-se simples à estimativa desse índice; c) A e E afetaram de forma independente a parte vegetativa e de produção da cultura, exceto altura de planta; o máximo IAF (2) obtido com A4 no estádio E3 e a máxima cobertura do solo atingiu de 85%. As produtividades primária, secundária e terciária em relação à total (PT) se mantiveram nas proporções de 37%, 54% e 9%, e a máxima PT média ( $3.882 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi obtida com lâmina de 460 mm, resultante de A4E4. A porcentagem total de grãos chochos no sequeiro foi o dobro do obtido nos cultivos irrigados e d) a máxima eficiência econômica não se distinguiu da máxima eficiência técnica que, à semelhança de A4E4, foi obtida com lâmina de ótima de 470 mm e suspensão E4, a maior produção total de  $3.582 \text{ kg ha}^{-1}$  ao custo de R\$2.011,06/ha e relação benefício/custo de 2,01.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis* L. Irrigação localizada. Evapotranspiração. Estádios fenológicos. Índice de área foliar. Estudo econômico. Grãos chochos.

## ABSTRACT

This study was conducted with the castor bean, IAC 2028, drip irrigated from March to October/2011, under the climatic conditions of Lavras-MG aiming to estimate: a) stadiums and phases phenological and parameters of irrigation b) leaf area index, LAI, by different methods, c) effect of the factors water (A) and periods without irrigation (E) on vegetative growth, yield and yield components and d) technical and economic efficiency, and profitability of cultivation of various levels of these factors. Experiment conducted in randomized block in the design factorial 5x5+1 from the factors A and E with rainfed crop A0E0 (control) and three replications, with A0, A1, A2, A3, A4 and A5 to 0%, 40%, 70 %, 100%, 130% and 160% of the water depth replacement of reference required to raise the soil moisture to field capacity and; E0, E1, E2, E3, E4 and E5 the suspensions of irrigation in stadiums corresponding respectively; were 78 plots, each with 16 plants spaced 0.75 x 1.2 m between rows and 4 central plants useful, plus 39 reference parcels A3E5 used for destructive sampling the plant, periodically evaluated, days after seeding (DAS ), to measurement the variables the plant; LAI was measured and estimated with use of digital images for 5 non-destructive sampling methodologies. It is concluded that: a) the characterization of stadiums was adequate to phenological stages I, II, III and IV cycle OF 220 DAS; A4 corresponded to the fraction of soil water depletion ( $f = 0.43$ ) to the tension of 14 kPa and A4E4 stood out with total productivity higher (PT) and evapotranspiration capacity (ETc); The ETc maximum (3.4 mm d-1) and crop coefficient ( $K_c = 0.87$ ) were obtained in stadium E3 to A3E5; b) the IAF obtained by the 5 methods were coherent phases I, II, III and IV and proved to be simple to estimate this index; c) A and E affect, independently, the vegetative part and of crop production, except plant height; the maximum LAI (2) obtained with A4 in the stadium E3 and the maximum from coverage of the soil has reached 85%; the relative productivities from total (PT) primary, secondary and tertiary were maintained in proportions of 37, 54 and 9%, and the average maximum PT ( $3,882 \text{ kg ha}^{-1}$ ) was obtained with 460 mm water depth resulting from A4E4; the total percentage the voids grain obtained in dryland was twice that obtained in the irrigated crops and; d) the maximum economic efficiency not differentiated itself of efficiency technique maximum that, the likeness of A4E4, was obtained with water depth optimal of 470 mm and suspension E4, the highest total production of  $3,582 \text{ kg ha}^{-1}$  at cost of R\$2,011.06/ha and benefit/cost relation of 2.01.

**Keywords:** *Ricinus communis* L. Irrigation. Evapotranspiration. Phenological stages. Leaf area index. Economic Survey. Grains voids.

## 1 INTRODUÇÃO

O principal produto da mamoneira, desde a Antiguidade, é o óleo extraído de suas sementes, utilizado como combustível para iluminação por meio das “lamparinas ou candeeiros” e na fabricação de cosméticos e medicamentos. A extração do óleo da mamona pode chegar a 55%, sendo o subproduto denominado torta ou farelo de mamona, com até 50% em teor de proteínas. Porém, em razão de suas propriedades tóxicas para alimentação animal, é utilizado, comumente, como fonte de nutrientes na adubação de solo.

Na indústria, o óleo de mamona é utilizado para a fabricação de cosméticos, medicamentos, fabricação do náilon, espumas e revestimentos resistentes a incêndio, aditivos anticongelantes de combustíveis de aeronaves e lubrificantes, entre outros. Atualmente, dentre as oleaginosas, o óleo de mamona também vem sendo utilizado como fonte de energia para motores de ciclo diesel, o biodiesel. Especialmente em razão do seu alto valor de mercado na indústria ricinoquímica, o óleo de mamona tem sido utilizado como aditivo desse combustível em substituição aos aditivos derivados de petróleo. Assim, com a crescente demanda energética mundial, maior atenção tem sido dada à produção das oleaginosas relacionada aos programas governamentais de fontes de energia renováveis e alternativas e, com isso, a ênfase está nos biocombustíveis, dos quais o biodiesel já é uma realidade.

Na Europa, o consumo do biodiesel (atendido, principalmente, pela produção interna) foi da ordem de 195.000 toneladas, em 1998, atingindo o consumo de 427.000 toneladas, em 2002. Nos Estados Unidos, além dos estados cujo consumo não é obrigatório, leis aprovadas em Minnesota e Carolina do Norte tornaram obrigatório, a partir de 01/01/2002, que todo o diesel consumido tivesse 2% de biodiesel (OLIVEIRA, 2001).

No Brasil, atualmente, no diesel, utiliza-se a mistura B5, ou seja, incorporam-se 5% de biodiesel ao diesel fóssil, devendo chegar gradualmente a B7 em 2013, B10 em 2016 e B20 em 2020, podendo esta escala ser antecipada em caso de aumento da produção nacional, já sendo prevista, para 2013, a utilização do B20 metropolitano em transportes urbanos (UNIÃO BRASILEIRA DO BODIESEL, UBRABIO, 2012). Para atender ao primeiro percentual, a área de plantio de oleaginosas é estimada em 1,5 milhão de hectares, equivalente a 1% dos 150 milhões plantados e disponíveis para agricultura (BRASIL, 2008). Dentre as oleaginosas, a atual produção brasileira de mamona é de 110,4 mil toneladas, em 154,8 mil hectares, sendo o nordeste responsável por 90,5% da produção, com área cultivada de 145,4 mil hectares e produtividade de 687,0 kg ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, CONAB, 2010).

A implementação de um programa energético com biodiesel abre oportunidades para grandes benefícios sociais, a geração de emprego por capital investido, as demandas por mão de obra qualificada para o processamento, a promoção do trabalhador rural, particularmente no sistema de agricultura familiar e vantagens ambientais inerentes, como a redução de emissão de poluentes e de enxofre, o que evita custos com saúde pública e de gases responsáveis pelo “efeito estufa”. Entretanto, para que esses benefícios econômicos, sociais e ambientais do Programa Nacional do Biodiesel sejam efetivamente consolidados, diversos estudos deverão ser realizados para que ele se estenda às áreas de cultivos no país e, ainda, com aumento de produtividade para as diversas culturas agrícolas oleaginosas em potencial para a produção de biodiesel.

Diversos são os fatores que afetam a produção de uma cultura. Entre eles estão os de natureza não controlada pelo homem, referentes às condições meteorológicas da superfície, entre cujos elementos destacam-se a radiação

solar, a temperatura e a precipitação pluvial. No Brasil, em particular na região sul do estado de Minas Gerais, dentre outras culturas, faltam informações sobre a interação da mamona com as condições climáticas locais, a necessidade hídrica da cultura, a sua vulnerabilidade e, principalmente, informações técnicas e econômicas da potencialidade produtiva dessa cultura para a produção de biodiesel.

A determinação da demanda hídrica de uma cultura para fins de um adequado planejamento, dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação ou, mesmo, para fins de estudos climáticos e hidrológicos, envolve o estudo de variedades potencialmente produtivas e sua viabilidade econômica na região. Acredita-se que o cultivo da mamona, entre outras oleaginosas, possa trazer grande contribuição para a geração de emprego e renda, alavancar a exploração econômica para a produção de biodiesel em várias regiões do Brasil, sem competir com a produção alimentar e, principalmente, com grande participação da agricultura familiar e empresarial, promovendo o desenvolvimento e a distribuição de renda nessas regiões.

Nesse contexto, propôs-se, com este estudo realizado com a cultura da mamona irrigada por gotejamento, cultivar IAC 2028, sob as condições climáticas do município de Lavras, Minas Gerais, alcançar os seguintes objetivos: a) caracterizar os estádios e as fases fenológicas da cultura; b) estimar os parâmetros básicos do manejo de irrigação; c) avaliar a estimativa do índice de área foliar por diferentes métodos; d) avaliar o efeito isolado e conjunto das lâminas de água e épocas de suspensão da irrigação sobre o desenvolvimento vegetativo, componentes de produção e produtividades; e) estimar a máxima eficiência técnica e eficiência econômica da cultura e f) estimar a rentabilidade e a viabilidade econômica da cultura irrigada por gotejamento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse tópico, longe de esgotar o assunto, são abordados alguns itens relacionados a esse estudo e à cultura da mamona.

### 2.1 Cultura da mamona

A mamona (*Ricinus communis* L.) também é denominada, no Brasil, de carrapateira, palma-cristi e ricino. Em espanhol, é conhecida como *higuerilla*, *higuerete*, *palma christi*, *higuera* e *tártago*; em francês, *ricinus*; em inglês, *castor bean* e *castor seed* e, em alemão, *wunderbaun*. Trata-se de uma das 7.000 espécies da família das Euforbiáceas (BELTRÃO et al., 2001).

#### 2.1.1 Distribuição geográfica, botânica e requerimentos ambientais

Existem controvérsias na determinação, com precisão, da origem da mamoneira, o que é decorrente da sua ampla adaptação às mais distintas condições climáticas. Apesar de ser uma cultura de regiões predominantemente quentes, é encontrada em locais de clima ameno. Atualmente, a hipótese mais aceita é a de que o centro de origem da mamona seja a Etiópia, no leste da África (LORENZI, 2000; BELTRÃO et al., 2001).

É uma espécie conhecida desde os tempos remotos e cujas sementes foram encontradas em urnas funerárias de sacerdotes egípcios. Acredita-se que esta civilização já cultivava a mamona há mais de 4.000 anos, para fins medicinais e também para a iluminação, com o óleo extraído de suas sementes (RODRIGUES; OLIVEIRA; FONSECA, 2002).

Não existem informações precisas sobre a época da introdução da cultura no Brasil, mas alguns autores acreditam que ela tenha sido trazida pelos colonizadores portugueses, no primeiro século do descobrimento

(GONÇALVES; BENDEZÚ; LELES, 1981; VASCONCELOS, 1990). Azevedo et al. (2001) destacam a adaptação da mamona a quase todas as regiões do país e ressaltam que as regiões nordeste, sudeste e sul, especificamente os estados da Bahia, São Paulo e Paraná, respectivamente, são os principais produtores desta oleaginosa.

A mamona abrange vasto número de tipos de plantas nativas da região tropical, sendo a espécie *Ricinus communis* L. a única conhecida (SAVY FILHO et al., 1999; SAVY FILHO, 2003). Trata-se de uma planta de elevada complexidade morfológica e fisiológica (BELTRÃO; SILVA, 1997) e também de hábito de crescimento variado, com diversas colorações de caule, folhas e racemos (cachos), podendo ou não possuir cera no caule e no pecíolo. Os frutos, em geral, possuem três bagas ou sementes, espinhos e, em alguns casos, são inermes. As sementes apresentam diferentes tamanhos, formatos e grande variabilidade de coloração, além de variação no seu conteúdo de óleo, que pode chegar a 55% (RODRIGUES FILHO, 2000).

Nos trópicos e subtropicais, comporta-se como uma planta semiperene e pode atingir até 13 m de altura e diâmetro do caule de 7,5 a 15 cm. Em zonas temperadas, é uma planta anual, com altura média entre 1 a 3 m (TÁVORA, 1982; BELTRÃO et al., 2001). No território brasileiro, ocorre espontaneamente em muitas áreas e tem porte variado, mas, sob cultivo, apresenta hábito de crescimento arbustivo (RODRIGUES; OLIVEIRA; FONSECA, 2002).

O ambiente tem grande influência no crescimento radicular da mamona. É pivotante, podendo chegar a até 3 m de profundidade e as raízes laterais são bem desenvolvidas e situam-se a poucos centímetros da superfície do solo. Em condições de pouca disponibilidade hídrica, o sistema radicular se desenvolve a grandes profundidades, com as raízes laterais explorando um grande volume de solo. Sob irrigação ou em condições de elevada disponibilidade de água, o

sistema radicular é menos desenvolvido e mais compactado (TÁVORA, 1982; CARVALHO, 2005).

É uma planta de metabolismo fotossintético C<sub>3</sub>, com elevada taxa de fotorrespiração e que necessita de dias longos com, pelo menos, 12 horas de luz por dia para produzir satisfatoriamente (AZEVEDO et al., 2001; BELTRÃO et al., 2001). Mas, segundo Daí, Edwards e Ku (1992), a mamoneira é uma 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.

Embora seja considerada de clima quente, a mamoneira é extremamente adaptável às mais variadas condições ambientais. Desenvolve-se muito bem em climas tropicais e subtropicais, podendo ser produzida também em zonas temperadas. Sua área de cultivo está normalmente compreendida entre os 40°N e 40°S. Nas zonas temperadas, com verões secos, encontra as condições mais favoráveis para a produção máxima. Pode ser cultivada em muitos tipos de solo, porém, como a maioria das culturas agrícolas, dá preferência a solos bem drenados, de textura franca e bem balanceados, do ponto de vista nutricional (TÁVORA, 1982). 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.

Sua produção e rendimento dependem das condições ambientais, sendo os elementos climáticos precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar, associados à altitude, os que mais contribuem para que expressem o seu máximo potencial genético, em termos de produtividade (SILVA; AMORIM NETO; BELTRÃO, 2000). Segundo Carvalho (2005), a altitude é um dos fatores mais importantes a serem levados em consideração e recomenda a exploração comercial em áreas com altitudes entre 300 a 1.500 m acima do nível

do mar, onde, teoricamente, estaria o ótimo para a cultura, o que não descarta o seu cultivo em locais com altitudes diferentes das mencionadas.

Apesar de a mamona ser resistente à seca, no mínimo cinco meses de estação chuvosa ao ano são necessários. De acordo com Távora (1982), é necessário que ocorram, no mínimo, precipitações entre 600 a 750 mm durante o ano. A falta de água no solo, mesmo que na fase de maturação dos frutos, implica em sementes com baixo peso e teor de óleo. Em razão da mais recente e crescente demanda pela expansão da cultura da mamona no estado de Minas Gerais, assim como para outras regiões do Brasil, faltam informações sobre a interação da cultura com as condições climáticas locais, como também de suas necessidades hídricas e econômicas.

### **2.1.2 Uso e importância econômica**

O principal produto da mamoneira é o óleo extraído de suas sementes, utilizado pelo homem desde a Antiguidade. Por apresentar elevado teor de ácido ricinoleico (90%), este óleo difere dos demais pela alta viscosidade e estabilidade à oxidação, mantidas mesmo com grande variação de temperatura, além de ser o único óleo vegetal solúvel em álcool à baixa temperatura. Dessa forma, tem facilitada a sua utilização por empresas do ramo químico. Os demais óleos vegetais perdem viscosidade em altas temperaturas e solidificam em baixas (FREIRE; SEVERINO, 2006).

O processo de produção do biodiesel a partir de frutos ou sementes oleaginosas foi patenteado por um brasileiro, o professor Expedito José de Sá Parente, da Universidade Federal do Ceará (PARENTE, 1983).

Para cada 100 kg de óleo de mamona extraído, são produzidos mais ou menos 130 kg de um importante subproduto, denominado torta ou farelo de mamona, que é um excelente adubo orgânico, com teor médio de

macronutrientes da ordem de 4,4% de nitrogênio, 1,8% de fósforo e 1,4% de potássio (FREIRE, 2001). Por outro lado, além da produção de óleos vegetais, é importante a demonstração dos aspectos de recuperação de solos improdutivos, por meio da nitrogenação com o cultivo de espécies oleaginosas.

O Brasil foi, durante décadas, o maior produtor mundial de mamona em grão e exportador de óleo. Contudo, em 1982 e 1993, Índia e China superaram o Brasil e tornaram-se, respectivamente, o primeiro e o segundo maiores produtores de mamona do mundo. A partir desse período, quando o Brasil passou a ocupar o terceiro lugar, sua produção caiu de cerca de 300 mil toneladas, no final da década de 1980, para 80 mil toneladas, em 1997. Esta produção está concentrada, principalmente, na Bahia e nos estados do nordeste (SILVA; AMORIM NETO; BELTRÃO, 2000; CORRÊA; SILVA; TAVORA, 2004; SANTOS et al., 2001). Nos estados em que os rendimentos médios são maiores, São Paulo, Paraná e Minas Gerais, a área colhida e a produção de mamona são insignificantes, apesar de um pequeno incremento ocorrido entre 1998 e 2001.

No Brasil, depois de sucessivas reduções de produção e área colhida, a mamonocultura evidenciou recuperação nas safras de 2004 e 2005. Nesses anos, a área plantada no país representou, respectivamente, 14% e 15% do total mundial e a produção correspondeu a 11% e a 13% do montante produzido mundialmente (SANTOS; KOURI, 2006). A mamona contribui com cerca de 0,8% na matriz oleaginosa no Brasil, com cerca de 160.000 hectares cultivados, principalmente na região nordeste, em condições climáticas mais secas e com produtividade média baixa, em torno de 350 litros de óleo por hectare. Entretanto, é uma planta que pode ser utilizada em sistemas mecanizados e também em sistemas de agricultura familiar, nos quais poderá ser conduzida em sistemas associados com outras culturas, de ciclo anual ou perene.

### **2.1.3 Produção nas regiões Sul de Minas e Zona da Mata Mineira**

Pesquisas sobre levantamento ou abordagem técnica e econômica da realidade e potencial produtivo de uma cultura em âmbito local ou regional são poucas; particularmente para a mamoneira são raras. Nesse sentido foi realizada, nas regiões da Zona da Mata e do Sul de Minas, por Silva, Esperanicini e Bueno, (2010), uma pesquisa na qual se identificou que as propriedades nessas regiões possuem área média de 24,6 e 29 ha, cultivando 15,8 e 17,4 ha, das quais 9,36 e 3,10 ha são, em média, destinados à produção de mamona, respectivamente. Todos os produtores disseram ser proprietários e com renda média mensal de 6,2 e 6,0 salários mínimos, exclusiva da atividade agrícola. A mão de obra utilizada é predominantemente familiar, ocorrendo também a utilização de trabalho temporário. O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) é apontado, pelos produtores, como a principal motivação para efetuarem o plantio da mamona, assim como os incentivos da prefeitura, fornecendo semente, adubo, calcário e sulfato de amônia, além da existência de mercado, com a compra da produção garantida via contrato com a prefeitura.

Nessas duas regiões, Zona da Mata e Sul de Minas, conforme Silva, Esperanicini e Bueno (2010), a produtividade média da cultura situa-se no patamar de 1.024 e 1.310 kg ha<sup>-1</sup>, superando em 38,19% e 76,79% a média nacional, que é de 741 kg ha<sup>-1</sup>, mas está 24,43% e 3,32% abaixo da produtividade estadual, que é de 1.355 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Constataram ainda os autores que, nessas duas regiões, predomina o cultivo de café e que, no cultivo da mamoneira, a variedade Guarani é predominante na maioria das propriedades, no sistema solteiro, atingindo apenas 41,0% a 52,4% da produtividade esperada para esta variedade, que é de 2.500 kg ha<sup>-1</sup>. Apesar de a

variedade permitir uma só colheita, nas duas regiões essa operação é repetida duas vezes, pela maioria dos produtores.

#### **2.1.4 Irrigação da mamoneira**

Uma agricultura irrigada eficiente pressupõe a utilização da água e do sistema de irrigação de forma a obter a máxima produção por unidade de água aplicada. Torna-se necessária a adoção de um manejo de irrigação racional e criterioso, que permita um perfeito fornecimento de água durante o crescimento da cultura (ANDRADE JÚNIOR; KLAR, 1996).

A irregularidade das chuvas nas várias regiões produtoras de mamona, aliada aos períodos de estiagem durante a época chuvosa, tem prejudicado a cultura. A maior evidência disso são as baixas produtividades obtidas, sendo de cerca de 600 kg ha<sup>-1</sup> a média mundial e de 722 kg ha<sup>-1</sup> a média brasileira (SILVA; AMORIM NETO; BELTRÃO, 2000). Desse modo, para minimizar problemas decorrentes do estresse hídrico e garantir produtividades mais elevadas, a adoção da tecnologia de irrigação passa a ser uma excelente alternativa, que pode propiciar estabilidade da produção agrícola (BARROS JÚNIOR et al., 2008). A mamoneira é bastante exigente quanto à umidade do solo, em especial no período de enchimento dos frutos e o manejo da irrigação deve ser ministrado com pouca água em intervalos curtos, devendo ser suspensa um mês antes da colheita (BELTRÃO, 2004).

A irrigação da mamoneira pode ser realizada por diversos métodos. Contudo, segundo Andrade Júnior e Klar (1996), no sistema por gotejamento, no qual a água é aplicada diretamente na zona radicular da planta, observa-se uma economia de água, em geral entre 20% e 30%, podendo atingir até 60% em culturas frutíferas com grande espaçamento, em relação ao sistema por aspersão. Além dessa, cita-se também como vantagem da irrigação por gotejamento a

redução de custos de controle devido à menor infestação de plantas daninhas, pragas e doenças, favorecidas com a irrigação da área total e da parte aérea da planta.

No Brasil, as áreas irrigadas com mamona são poucas, com alguns registros na Bahia, no Rio Grande do Sul e no Maranhão, atingindo até mais de 6,0 toneladas de baga  $\text{ha}^{-1}$ , em alguns casos. No caso do uso da irrigação na mamona, este fato somente se justifica quando se utiliza alta tecnologia para maximizar a produtividade, com elevado teor de óleo de boa qualidade (BELTRÃO, 2004). Dentre as vantagens da irrigação está a possibilidade de antecipar a época de plantio, para que a colheita seja realizada nos meses mais secos do ano (CURI; CAMPELO JÚNIOR, 2004; CARVALHO, 2005).

Segundo Beltrão e Cardoso (2006), a mamoneira tem potencial produtivo de 10.000  $\text{kg ha}^{-1}$  de grãos e, em algumas localidades, já foram obtidas produtividades de 8.500  $\text{kg ha}^{-1}$ , com cultivares anãs em regime de irrigação. Para a cultivar BRS 149 Nordestina, cujo produtividade média, em condições de sequeiro, é de 1.500  $\text{kg ha}^{-1}$ , a utilização da irrigação pode ampliar este valor para 3.500  $\text{kg ha}^{-1}$  ou, até mesmo, 4.500  $\text{kg ha}^{-1}$  (BELTRÃO, 2001 e CARVALHO, 2005).

## **2.2 Estádios de desenvolvimento e escala fenológica**

A tecnologia no campo da agricultura envolve a aplicação do conhecimento de diferentes áreas das ciências, tais como botânica, fisiologia vegetal, fenologia (estudo dos fenômenos periódicos da vida e suas interações com o ambiente), edafologia, fitopatologia, entomologia, climatologia, engenharias e economia, entre outras, visando o controle e o aumento da produção agrícola. O controle da produção e/ou o aumento da produtividade econômica das plantas só são possíveis conhecendo-se os fatores que atuam

sobre o crescimento e o desenvolvimento da cultura (PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011). Em agricultura, o ciclo fenológico, ou ciclo produtivo da cultura, pode ser representado por uma curva de crescimento (produtividade biológica) e/ou escala de desenvolvimento fenológico da cultura (escala fenológica), subdividida em diferentes períodos de crescimento e desenvolvimento, marcados por momentos de mudanças quantitativas e qualitativas, visíveis ou invisíveis (BELTRÃO, 2002; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011; LUCCHESI, 1984).

O crescimento de uma planta é entendido como expressão quantitativa que envolve os processos de divisão e expansão de diversos tipos de células. Consiste em mudanças quantitativas do corpo vegetal ligadas ao aumento irreversível de algum atributo físico, seja em massa, volume e/ou número de células, aumento do material protoplasmático de reserva nas células por vacuolização, divisão e alongamento celular. Nesse processo de crescimento, a água desempenha importante função, tanto é que, em déficit hídrico, o crescimento em extensão é o mais sensível, pois depende da pressão de turgor (BELTRÃO, 2002; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011). O desenvolvimento de uma planta, por sua vez, é a expressão qualitativa complementar ao crescimento que envolve processos de especialização celular (ou diferenciação) e morfogênese (mudança da forma das células e órgãos). O desenvolvimento vegetal, normalmente, depende do crescimento e é confundido frequentemente como parte do crescimento (LIMA FILHO; VALOIS; LUCAS, 2004; BELTRÃO, 2002; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011).

Crescimento e desenvolvimento vegetal são processos graduais complexos, simultâneos e complementares que expressam as características fenotípicas resultantes da ação conjunta de fatores internos (genótipo) e externos (ambiente) em diferentes momentos, estádios e/ou fases do ciclo, tais como

germinação, juvenilidade, floração, frutificação, maturação, senescência e morte. Esses momentos de mudança, denominados estádios ou fases fenológicas de cada planta, são expressos em termos médios por mudanças específicas da planta, tais como grau de crescimento vegetativo, aparição, transformação ou desaparecimento de um órgão da planta. O conceito e/ou a definição de crescimento e desenvolvimento relacionados à escala fenológica são muito bem ilustrados pela figura de uma escada (daí o nome escala). Nessa ilustração do ciclo de um indivíduo como uma escada, a subida de cada degrau (nível) representa a fase (desenvolvimento, transformação), enquanto os níveis horizontais entre dois degraus (fases) consecutivos são os subperíodos de crescimento (BERGAMASCHI, 2004).

A definição de estádio compreende subdivisões dentro de um período ou, mesmo, a caracterização de uma fase do ciclo do indivíduo, mas não necessariamente de transformação, como é a definição de fase. Portanto, os estádios podem coincidir com fases, tais como o início de florescimento (fase ou estádio) ou, simplesmente, o número de folhas de um subperíodo de crescimento vegetativo (estádio). Os estádios surgiram da necessidade de detalhar melhor uma ou mais fases de desenvolvimento de um organismo, especialmente aquelas fases vegetativas de intervalo muito longo. Por exemplo, da emergência das plântulas ao início do florescimento, o período pode ser subdividido por meio de sucessivos estádios vegetativos para a elaboração da escala fenológica (BERGAMASCHI, 2004). Nesse caso, para mamoneira, conforme Milani, Miguel Júnior e Sousa, (2009), uma característica importante para descrever os estádios vegetativos iniciais é a filotaxia alternada do tipo 2/5 (duas voltas de 360° ligando a inserção das folhas resultam em cinco folhas). Assim, torna-se possível utilizar a fenologia para finalidades específicas, como adubações de cobertura, tratamentos fitossanitários, manejo da irrigação, observação de

estresse hídrico e/ou adequação da época de plantio, entre outros (BERGAMASCHI, 2004; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011; BELTRÃO et al., 2001; BELTRÃO, 2002; LIMA FILHO; VALOIS; LUCAS, 2004).

O estabelecimento detalhado da escala fenológica e/ou dos critérios práticos de determinação das diferentes fases de desenvolvimento de uma cultura específica é um instrumento relevante em inúmeras aplicações e tratos culturais, informação que permite o aumento do potencial produtivo e a melhoria do nível tecnológico de produção da cultura. Os estudos, o estabelecimento e a aplicação de escalas de desenvolvimento fenológico das culturas de maior importância econômica já são uma realidade, assim como vêm sendo aperfeiçoados, acompanhando a evolução do nível tecnológico e o melhoramento genético das cultivares, particularmente nas culturas como milho, feijão, arroz, soja e café entre outras (DOOREMBOS; KASSAN, 1979).

Os boletins FAO 24, 33 e 56 (DOORENBOS; PRUITT, 1977; DOOREMBOS; KASSAN, 1979; ALLEN et al., 1998) descrevem as principais fases de crescimento e desenvolvimento do ciclo para várias culturas e os intervalos de tempo ou períodos de duração dessas fases são tabelados para vários locais e/ou condições de clima diferentes, conforme Allen et al. (1998) e Doorembos e Kassan (1979). Segundo Allen et al. (1998), os intervalos de tempo entre os estádios fenológicos variam com o genótipo e as condições climáticas do local, podendo as altas temperaturas e/ou o déficit de umidade do solo acelerar o amadurecimento, a senescência, encurtar a duração dos estádios ou, mesmo, causar dormência, como no caso da grama. Esses autores afirmam que os valores tabelados são dados médios, úteis somente como guia geral e para o propósito de comparação e recomendam a utilização de dados fenológicos da cultura específica obtidos de observações ou pesquisas locais, incorporados os efeitos da variedade, clima e práticas culturais.

Segundo Allen et al. (1998), essas informações fenológicas podem ser obtidas fazendo-se levantamentos locais, junto a produtores, agentes de extensão rural e pesquisadores da região, recomendando que, para aquilatá-las, diretrizes e descrições visuais podem ser muito úteis. Recomendam, ainda, que estádios, período de duração, ciclo da cultura e cobertura efetiva do solo podem ser estimados para o local e a cultura específica, por meio de equações de regressão com base no tempo térmico (em graus-dias acumulados), ou mediante modelos de simulação de crescimento de planta mais sofisticados (Aquacrop-FAO, por exemplo) (STEDUTO et al., 2009).

O desenvolvimento da mamoneira, segundo Beltrao (2002) e Silva, Aires e Casagrande Jr. (2008), citando Moshkin (1986), envolve 12 diferentes estádios, considerando desde a germinação à completa maturidade de cada cacho, com duração de cada estádio depende da cultivar e do ambiente, em especial da temperatura e da precipitação pluvial, pois a falta de água pode comprometer o rendimento, principalmente nas fases de florescimento e frutificação (8º e 9º estádios fenológicos). No entanto, o excesso de umidade é prejudicial em qualquer período do ciclo da mamoneira, sendo crítico nos estágios de plântula, maturação e colheita (AZEVEDO; LIMA; BATISTA, 1997).

A época de plantio está relacionada com a distribuição e a quantidade de precipitação. Em regiões de alta pluviosidade, a época de plantio deve ser ajustada de forma que não ocorram grandes volumes de precipitação nas fases de amadurecimento e secagem dos frutos (TÁVORA, 1982). Os estádios de enchimento das sementes de cada ordem de racemo ocorrem sob diferentes condições ambientais, o que provoca variações na contribuição de cada ordem de racemos na produtividade total (FANAN et al., 2009).

Severino et al. (2007) e Fanan et al. (2009) concluíram que a mamoneira é naturalmente desuniforme quanto à maturação dos frutos, o que aumenta sua capacidade adaptativa, contudo, torna sua colheita um pouco mais difícil. Severino et al. (2007) descreveram as fases do desenvolvimento da planta, principalmente nos aspectos ligados aos frutos e às sementes, para que os agricultores e os técnicos possam compreender as fases de maturação e, com isso, decidir pelo melhor momento de realizar a colheita. Eles recomendam que ela seja feita quando o cacho estiver com todos os frutos secos, tolerando-se 1/3 dos frutos ainda verdes, desde que isso implique na redução de custos.

### **2.3 Análise quantitativa do crescimento e produtividade**

A interação entre cultura (genótipo), fatores edafoclimáticos (ambiente) e competidores (pragas e doenças) condiciona a produção agrícola em determinada local (região). Assim, pode-se afirmar que a produção vegetal está diretamente relacionada com a conversão da energia solar em energia química, matéria seca e vapor de água, nos processos de fotossíntese e evapotranspiração, ao longo do ciclo da planta (ALLEN et al., 1998; LEME; MANIERO; GUIDOLIN, 1984), sendo as folhas o principal órgão responsável por esta produção (LUCCHESI, 1984; BENICASA, 1988; BERGAMASCHI, 2004; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011; BELTRÃO, 2002).

Nesse sentido, a análise quantitativa do crescimento e do desenvolvimento vegetal mediante a avaliação de parâmetros relativos ao incremento de matéria seca e área foliar permite uma visão mais abrangente do comportamento da planta, além daquela relativa à produção (LUCCHESI, 1984; BENICASA, 1988; 2004; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011; BELTRÃO, 2002). A curva de crescimento é descrita em termos de produtividade biológica, que é o aumento médio de peso da matéria seca total da planta inteira ou

biomassa vegetal. Em alguns casos, a produtividade biológica é estimada apenas com base na matéria seca da parte aérea da planta, visto que, em certas situações, a determinação do sistema radicular é muito difícil de aquilatar-se.

A produtividade biológica, biomassa vegetal, produtividade líquida ou, ainda, denominada de fotossíntese líquida corresponde à diferença entre a produtividade bruta (fotossíntese total) e a matéria seca degradada pelo processo de respiração. Convém ainda distinguir produtividade biológica de produtividade econômica e produtividade de produção. A produtividade econômica ou agrícola corresponde à parte econômica de interesse da biomassa da planta, tais como a armazenada em órgãos como sementes, frutos, caule, folhas, flores e tubérculos, entre outras.

A produção, segundo Lucchesi (1984), é o valor absoluto daquilo que foi produzido no módulo ou unidade produtora em um ciclo e produtividade seria essa produção em relação a algum fator produtivo, sendo mais comum produção por área e/ou por tempo. Este e outros autores (ALLEN et al., 1998; BELTRÃO, 2002; PROCÓPIO et al., 2003; LIMA FILHO, 2004; BELTRÃO; OLIVEIRA; FIDELIS FILHO, 2008; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011) descrevem importantes índices de análise quantitativa do crescimento, dentre eles índice de área foliar (IAF), fração de cobertura do solo ( $f_c$ ), taxa de emissão e expansão foliar, duração de área foliar (DAF), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), índice de colheita (IC), força de dreno (FD) e taxa de assimilação líquida (TAL), entre outros.

Determinando-se a superfície do limbo foliar e a variação da massa seca das folhas durante os estádios da cultura é possível calcular a área foliar específica (AFE), com a qual se pode avaliar a eficiência das folhas no processo de fotossíntese, deduzindo-se sua contribuição para o crescimento da planta, pois

fornece informações a respeito do desenvolvimento foliar e do direcionamento de fotoassimilados (MAGALHÃES, 1986).

#### **2.4 Cobertura do solo e índice de área foliar**

Os parâmetros básicos de análise quantitativa do crescimento e desenvolvimento das plantas estão direta ou indiretamente relacionados à matéria seca total (MST) e à área total de folhas da planta (AFT) ou da relação entre ambas. Com relação às folhas das plantas, uma importante medida quantitativa relacionada é denominada índice de área foliar (IAF), ou *leaf area index* (LAI) (BERGAMASCHI, 2004; BENICASA, 1988; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011; LUCCHESI, 1984; BELTRÃO, 2002; PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997; ALLEN et al., 1998; SENTELHAS, 2001).

O IAF de uma comunidade vegetal ou população de plantas é a razão adimensional que envolve áreas de superfícies de duas componentes, uma biológica e outra biofísica, sendo esta correspondente à área de superfície disponível ao crescimento e ao desenvolvimento da vegetação e aquela, à área de superfície fotossintetizante. O IAF expressa a capacidade e/ou a velocidade com que a superfície foliar fotossintetizante de uma população de plantas ocupa a superfície disponível durante os seus estádios de crescimento e desenvolvimento (WATSON, 1947; WATSON, 1952; BENICASA, 1988; LUCCHESI, 1984; BERGAMASHI, 2004; PEIXOTO; CRUZ; PEIXOTO, 2011; BELTRÃO, 2002).

A primeira definição do IAF foi introduzida por Watson (1947) como sendo a relação entre a área foliar da plantas de uma comunidade vegetal (A) e a área disponível ocupada por essa vegetação (Ad), ou seja,  $IAF = A/Ad$ . Essa definição de IAF corrente na literatura não é clara e, muitas vezes, ambígua, particularmente com relação ao termo biofísico ou área da superfície disponível

(Ad) que, em muitas publicações, ora é definido como a área de projeção (sombra com sol a pino) das copas das plantas ( $A_p = A_d$ ), ora como a área total de superfície disponível para as plantas ( $A_t = A_d$ ), no que resultam  $IAF = A/A_p$  e  $IAF = A/A_t$ . Em todo caso, um IAF igual a 5 significa 5 m<sup>2</sup> de área foliar ocupando 1 m<sup>2</sup> de solo ou área, no caso de vegetação aquática (LUCCHESI, 1984).

No entanto, o IAF é um índice extremamente dinâmico e, da forma como foi proposto por Watson (1947), sua quantificação se torna bastante complexa, como aborda Benicasa (1988), visto que tanto a área foliar total quanto a sua projeção que ocupa determinada superfície disponível variam quase que instantaneamente ao longo do ciclo da planta. A definição do IAF de Watson (1947), ainda que imprecisa, permite alguns pressupostos, sendo para a componente biológica: a) a área total de folhas da comunidade vegetal (A) deve corresponder somente à superfície fotossinteticamente ativa de uma das faces do órgão foliar, visto que, geralmente, apenas a face voltada para acima possui essa capacidade; b) a superfície fotossinteticamente ativa não corresponde somente às folhas superiores expostas à radiação solar direta, mas também às folhas do interior do dossel ou das copas expostas à radiação difusa; c) a superfície fotossinteticamente ativa não corresponde apenas ao órgão foliar, mas também a qualquer outro órgão da planta, tais como caules, pseudocaules, pecíolos, brácteas, flores e frutos verdes com essa capacidade; d) a área total de folhas (A) corresponde a uma comunidade ou população de plantas e a uma planta ou mais plantas isoladas, se estas representarem a população e e) na determinação da área total de folhas de uma grande população vegetativa (A), homogênea ou não, é razoável estimá-la por amostragens de parcelas e/ou de plantas isoladas representativas por meio da média obtida.

Já para a componente biofísica ou a área disponível ocupada pela vegetação ( $A_d$ ), alguns pressupostos da definição de Watson (1947) são: a) a área disponível ( $A_d$ ) do IAF de Watson (1947) não deixa claro se  $A_d$  é a área de projeção das copas das plantas ( $A_p$ ) ou se é a área total disponível ( $A_t$ ), pois não considera e/ou especifica os espaços entre as plantas sob exposição direta da radiação solar e/ou descobertos, o que ocorre frequentemente nos casos de populações de plantas esparsas e/ou em desenvolvimento inicial; b) a área de projeção ( $A_p$ ) é aproximadamente igual à área total ocupada ( $A_t$ ) em populações de plantas densa sem espaços descobertos, o que ocorre, geralmente, em vegetação com desenvolvimento máximo (clímax); c) a área total ocupada ( $A_t$ ) pela vegetação pode ser uma superfície de solo ou de água, para os casos de plantas aquáticas; d) populações de planta distintas que ocupam a mesma área de projeção ( $A_p$ ) e/ou área total disponível ( $A_t$ ) terão diferentes IAF pela diferença exclusiva de área da superfície fotossinteticamente ativa ( $A$ ) entre elas, principalmente em razão da diferença de densidade e distribuição vertical das folhas ao longo do dossel vegetativo, diferença de arquitetura de copas das plantas e/ou altura do dossel; e) populações de planta com áreas de projeção ( $A_p$ ) distintas e inferior à área total disponível ( $A_t$ ) poderão ter IAFs aproximadamente idênticos, se as menores áreas de projeção ( $A_p$ ) de cada índice (IAF) forem compensadas pelas maiores áreas de superfície foliar ( $A$ ) e as de maiores ( $A_p$ ) tiverem as menores áreas foliar ( $A$ ), proporcionalmente.

A área de projeção  $A_p$  é frequentemente considerada nos métodos indiretos de estimativa do IAF, nas áreas de ciências florestais e biológicas cujos estudos, geralmente, são realizados em vegetação densa com desenvolvimento máximo (clímax) e/ou sem espaços descobertos e, portanto,  $A_p$  é igual a  $A_t$ . Já a definição de IAF com base na  $A_t$  parece ser a mais generalizada, por ser o limite máximo de expansão da superfície foliar da vegetação ( $A_p \leq A_t$ ) e,

frequentemente, é considerada nas ciências agronômicas, cujos estudos, geralmente, são realizados com culturas com estádios de desenvolvimento e espaçamentos entre plantas, cuja cobertura pode ser completa ou não. Marcon (2009), avaliando vários modelos de ajuste da regressão de IAF estimado pelo LAI-2000 em relação às medidas de área total de folhas (A) do cafeeiro jovens de dois anos de idade e espaçamento de 2,6 x 0,6m, não encontrou, em nenhum dos modelos testados, ajustes significativos. Segundo este mesmo autor, tais resultados podem ter ocorrido em virtude das dimensões da copa (Ap), altura e largura, considerando-se que duas plantas de mesma área foliar (A) não têm, necessariamente, o mesmo valor de IAF, e o contrário também é verdadeiro.

O IAF representa a capacidade produtiva das plantas resultante das inter-relações ativas solo-água-planta-atmosfera do ecossistema e suas características biofísicas e estruturais. Assim, o IAF varia com o tipo de planta ou a variedade, os estádios do ciclo de desenvolvimento das plantas, o espaçamento entre plantas, a fertilidade e/ou a adubação do solo, as doenças e pragas, as práticas de manejo da cultura, as épocas ou as estações do ano, os períodos de estiagem e o grau de disponibilidade de água no solo. A influência deste índice é destacada na capacidade de interceptação da radiação solar e da chuva (precipitação pluvial), fotossíntese e evapotranspiração, resultando, em última análise, na expressão da capacidade de produtividade biológica e/ou econômica. Devido a essa profunda relação com os processos relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas, o IAF é utilizado em um grande número de modelos ecofisiológicos que simulam os ciclos de carbono e da água e a produtividade (BRÉDA, 2003; RODRÍGUEZ et al., 2009).

Em diversos trabalhos o IAF foi utilizado no intuito de estudar a ecofisiologia, a análise de crescimento e de desenvolvimento, a produtividade e a evapotranspiração, entre outros. Estes estudos têm abordado duas classes de

metodologia de determinação do IAF, os métodos diretos ou os indiretos. Os métodos diretos são considerados padrão por terem maior exatidão, entretanto, são mais trabalhosos e demandam a coleta de amostras de folhas de forma destrutiva por meio da remoção das folhas de uma parcela ou planta de amostragem. Os métodos indiretos envolvem equações alométricas relacionadas às características da planta (altura, diâmetro de copa, dimensões da folha, etc.), de mais fácil e rápida mensuração e o uso de imagens digitais e a avaliação do comportamento da radiação no dossel, sendo amplamente utilizados em razão da precisão, da rapidez na mensuração e/ou no custo, especialmente em florestas, devido à dificuldade de acesso às copas (BRÉDA, 2003).

Os métodos indiretos não fazem o contato direto com o objeto de análise e inferem sobre o IAF a partir de medições da radiação transmitida abaixo do dossel, fazendo uso da lei de Lambert-Beer (métodos ópticos), de imagens digitais (métodos fotogramétricos), de modelos e de equações alométricas, entre outros. Os métodos ópticos são os mais difundidos e incluem todos os elementos do dossel que interceptam a luz, como galhos, ramos e troncos. É comum, em vez de IAF, utilizar o termo índice de área de vegetação (IAV), quando nenhuma correção foi realizada. Um dos instrumentos mais utilizados na estimativa de IAV (ou IAF sem correção) é o LAI-2000, que é portátil e utiliza um sensor de luz “olho de peixe” (fisheye), para medir, simultaneamente, a atenuação da radiação difusa em cinco distintas bandas angulares (BRÉDA, 2003).

Galvani et al. (2000) avaliaram períodos de semeadura, IAF e produtividade do pepino e concluíram que, a partir de valores de IAF, podem-se estimar o melhor período de semeadura e a máxima produtividade cultura de pepino, auxiliando a tomada decisão dos produtores. A interceptação da luz pela superfície foliar é influenciada pelo seu tamanho, forma, ângulo de inserção e orientação azimutal, separação vertical e arranjo horizontal, e pela absorção por

estruturas não foliares. O aumento no IAF aumenta a produção de matéria seca, mas aumenta também o autossombreamento. As folhas inferiores são mais sombreadas e, conseqüentemente, a taxa fotossintética média por unidade de área foliar decresce. Sabe-se que a forma cônica da planta induz um maior potencial produtivo que a globosa, pois reduz o autossombreamento. O ângulo foliar é um parâmetro importante para a fotossíntese máxima e a produção; folhas eretas são mais eficientes quando o IAF é grande. Plantas cultivadas têm suas folhas dispostas mais obliquamente, enquanto as espécies selvagens dessas mesmas plantas as possuem mais na horizontal. O arroz é um caso típico de planta de alto potencial produtivo, pois tem folhas bem eretas. Trabalhos de melhoramento nesse sentido contribuirão sensivelmente para uma maior produtividade das plantas cultivadas e plantas assim melhoradas requerem pequeno espaçamento, aumentam a atividade fotossintética e desenvolvem maiores produtividades. Estudos mostram que existem IAFs ideais para determinadas culturas, sendo o IAF ótimo de 3,2, para soja; de 5, para o milho; de 6 a 8,8, para trigo e de 4 a 7, para arroz. Existem casos de adubações nitrogenadas e/ou disponibilidades de água no solo que induzem a altos IAF, mas, em conseqüência, à baixa produtividade econômica (LUCCHESI, 1984; PEIXOTO et al., 2010).

Peixoto et al. (2010), estudando os índices fisiológicos de cinco cultivares da mamoneira, entre eles o IAF, observaram valores desse índice variando entre 1,1 a 2,1 e destacaram que altos valores de IAF nem sempre estão correlacionados positivamente com a produtividade final das espécies cultivadas. No entanto, baixos valores podem comprometer o potencial produtivo das culturas. Para tanto, é necessário atentar para um IAF ótimo, que coincide com o máximo acúmulo de matéria seca e a maior taxa de crescimento da cultura.

Os índices fisiológicos da análise de crescimento indicam a capacidade do sistema assimilatório (fonte) das plantas em sintetizar e alocar a matéria orgânica nos diversos órgãos (drenos) que dependem da fotossíntese, da respiração e da translocação de fotoassimilados dos sítios de fixação aos locais de utilização ou de armazenamento. Esse desempenho é influenciado pelos fatores bióticos e abióticos (LESSA, 2007) e o índice força de dreno (FD), segundo Lima Filho, Valois e Lucas (2004), é um dos índices mais significativos para determinar a direção de translocação de fotoassimilados na planta e medir a capacidade de um dreno acumular metabólitos. Lima Filho, Valois e Lucas (2004), estudando a planta de estévia, observou que a partição preferencial de fotoassimilados seguiu a seguinte ordem temporal durante o ciclo: folhas, ramos, flores e frutos, raízes, sendo destino preferencial até o transplante (DAT), folhas e ramos; entre 0 e 30 DAT, ramos, folhas e raízes; entre 30 e 60 DAT, flores e frutos, ramos, raízes, folhas e entre 60 e 90 DAT, raízes, ramos, folhas, flores e frutos. No entanto, a translocação dos fotoassimilados da “fonte” para sintetizar e alocar a matéria orgânica nos diversos órgãos (drenos), ou seja, o mecanismo que direciona ou regula a partição para os drenos metabólicos, é desconhecida para diversas culturas de interesse econômico (LIMA FILHO; VALOIS; LUCAS, 2004).

Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) e Albuquerque, Klar e Gomide (1997), citando Oliveira et al. (1993), relacionaram  $E_{Tc}$  diretamente com IAF e  $K_c$  com IAF e verificaram que  $E_{Tc}$  e  $K_c$  foram bem descritos por IAF mediante uma função linear de segundo grau. Entretanto, ressaltam que a estimativa  $E_{Tc}$  (ou  $K_c$ ) apenas como função de IAF é limitada e necessita da inclusão de mais um parâmetro que retrate a demanda hídrica atmosférica, especialmente em condições de clima úmido, em que essa demanda é mais variável ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Albuquerque, Klar e Gomide (1997)

avaliaram a concordância da ETc do feijoeiro obtida pelo método de Penman-Monteith com o IAF e a demanda atmosférica (ECA) mediante regressão de modelo linear múltiplo e comprovaram melhor desempenho do modelo que prever a ETc em função de IAF e de ECA, do que apenas de IAF.

## **2.5 Evapotranspiração e coeficiente de cultura**

A evapotranspiração de qualquer cultura é uma das principais informações necessárias para o manejo racional da irrigação e para fins de planejamento do uso da água. Originalmente, o termo evapotranspiração, como se conhece hoje, foi introduzido por Thornthwaite, em 1948, e teve grande importância e impacto nas áreas de agricultura, climatologia e hidrologia (SEDIYAMA, 1996; PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

Para a identificação da evapotranspiração da cultura (ETc), normalmente, é realizado o processo em duas etapas, ou seja, previamente estima-se a evapotranspiração de referência (ETo) e, em seguida, deve-se ajustá-la por um coeficiente, denominado coeficiente de cultura (Kc). Esse último, determinado experimentalmente, é a relação entre a ETc e ETo. Para a estimativa da ETo existem diversos modelos matemáticos, sendo o método de Penman-Monteith-FAO o mais recomendado, desde que se tenha disponibilidade de elementos meteorológicos para entrada no modelo (ALLEN et al., 1998).

No caso da ETc, esta pode ser obtida por métodos, dito de medições diretas, os quais também podem medir a ETo, desde que a cultura seja a de referência, sendo a grama batatais a cultura considerada. Estes métodos consistem em lisímetros, balanço hídrico no solo e o sistema pelo balanço de energia segundo a razão de Bowen (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997; MENDONÇA et al., 2003; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI,

2005). Contudo, esses métodos são, geralmente, utilizados em projetos de pesquisa, devido à operacionalidade e ao elevado custo dos equipamentos.

A ETc é a quantidade de água consumida por uma cultura em qualquer fase de seu desenvolvimento, sob condições e cuidados agrônômicos recomendados para a sua produção potencial e sem restrição hídrica no solo. O conhecimento da ETc é fundamental em projetos de irrigação, pois ela representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção em condições ideais.

O coeficiente Kc está relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas, devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais nas quais será utilizado. Todavia, sua determinação sob condições de campo exige um grande esforço de pessoal e técnico, equipamentos e custos, em virtude da quantidade de informações, controles e monitoramentos necessários ao balanço hídrico em uma área irrigada (MEDEIROS; ARRUDA; SAKAI, 2004).

As metodologias e os procedimentos de cálculo para determinação do Kc têm sido apresentados e recomendados pela FAO (DOORENBOS; PRUITT, 1977; DOORENBOS; KASSAM, 1994; ALLEN et al., 1998; DOORENBOS; KASSAN, 1979; SOARES et al., 2001). Essas metodologias, basicamente, se referem à obtenção de Kc único ou, ainda, baseando-se na partição da evapotranspiração da cultura (ETc), nos componentes de evaporação do solo e transpiração da cultura, obtidos sob condições padrão (potencial). Porém, nesta última, são exigidos mais detalhamentos das variáveis envolvidas. A escolha entre o Kc único ou duplo depende do nível de precisão exigido, da frequência das irrigações e de recursos computacionais disponíveis.

Andrade Júnior et al. (2008) determinaram, no município de Alvorada do Gurgueia, PI, com a ETc determinada por meio do balanço de água no solo, os

Kc médios entre 0,15 a 0,75, respectivamente aos 12 e 150 dias após o plantio da cultivar BRS-Nordestina e o Kc máximo da mamoneira em consórcio com feijão na formação e no enchimento de vagens de 1,2. Já Curi e Campelo Júnior (2004) avaliaram os Kc ao longo de várias fases de desenvolvimento da mamona, híbrido Íris, nas condições da Baixada Cuiabana (Santo Antônio do Leverger, MT), e determinaram ETc média do ciclo de 4,0 mm d<sup>-1</sup> e consumo médio acumulado de água de 439,67 mm, com Kc variando entre 0,15 e 1,37.

## **2.6 Função de produção e análise econômica**

A água e os fertilizantes, entre os fatores de produção, são aqueles que limitam os rendimentos das culturas com maior frequência. Desse modo, o controle da irrigação e da fertilidade do solo constitui critério preponderante para o êxito da agricultura. A utilização das funções de produção permite encontrar soluções úteis na otimização do uso da água e dos fertilizantes na agricultura ou na previsão de produtividades (FRIZZONE, 1986).

Oliveira (1993) mencionou que muitos trabalhos de pesquisa envolvendo irrigação e fertilizantes apontam recomendações genéricas que objetivam a obtenção de produtividades físicas máximas, sem qualquer preocupação com a economicidade. A utilização da irrigação, com base nessas informações, poderá torná-la inviável, do ponto de vista econômico, já que o ótimo econômico, geralmente, não corresponde à máxima produtividade biológica.

Define-se uma função de produção como sendo as relações técnicas entre um conjunto específico de fatores envolvidos num processo produtivo qualquer e a produção física possível de se obter com a tecnologia existente (FERGUSON, 1988).

Frizzone, Ollita e Pereira (1987) mencionaram que as variáveis da função de produção água-cultura podem ser expressas de diferentes maneiras. A

variável independente água pode ser representada por transpiração, evapotranspiração e lâmina de água aplicada durante o ciclo, entre outras. Para o usuário da irrigação é mais interessante utilizar como variável independente a lâmina de água aplicada à parcela, mesmo que apenas parte dela seja utilizada no processo de evapotranspiração. Em geral, a variável dependente refere-se à produtividade agrícola comercial de grãos, frutos, matéria verde ou seca, entre outras. Por fim, as funções de produção água-cultura são particularmente importantes para as análises de produção agrícola quando a água é escassa (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005).

Para o processo de planejamento, essas funções constituem o elemento básico de decisão dos planos de desenvolvimento e, relativamente à operação de projetos de irrigação, permitem tomar decisões sobre planos ótimos de cultivo e ocupação de área para a produção econômica, com base na água disponível. Nesse processo de planejamento e tomada de decisão, de forma complementar, outros aspectos igualmente importantes estão ligados ao preço do produto no mercado e ao conhecimento dos custos de produção dos fatores produtivos.

Santana et al. (2009), em avaliação da produtividade física e econômica do feijoeiro em relação a várias frações de reposição e épocas de suspensão da irrigação, observaram efeito significativo desses dois fatores e a interação entre eles. Os autores concluíram que, independente dessas épocas de suspensão da irrigação, tanto as lâminas deficitárias como as excessivas reduziram a produtividade a partir da maior produtividade física obtida com lâmina de 100% de reposição; as produtividades obtidas em três épocas de suspensão não foram significativas, indicando não ser vantajoso irrigar a 100% de reposição até próximo da colheita. Lima et al. (2011) avaliaram a produtividade e o desenvolvimento de plantas de sorgo e braquiária consorciadas, sob interrupção da irrigação mantida até a umidade do solo próxima do ponto de murcha e

concluíram que o déficit hídrico provocou atraso no perfilhamento e no desenvolvimento inicial das plantas, reduzindo a produção de grãos do sorgo em consórcio, principalmente no período de iniciação da panícula e florescimento do sorgo cultivado. Resultados semelhantes do consórcio com milho sob déficit hídrico foram encontrados por Araújo et al. (2011).

Silva, Coelho e Silva (2005) avaliaram o efeito de diferentes épocas de irrigação e parcelamentos de adubação na produtividade do cafeeiro em quatro safras consecutivas, detectando efeito significativo do fator época de irrigação e safras, com interação significativa, indicando que a irrigação não eliminou o comportamento bienal do cafeeiro, mas concorreu para a redução da amplitude de variação da produtividade em safras consecutivas.

Braga, Khan e Mayorga (2008), em pesquisa realizada para o cultivo de sequeiro, com dados de 62 produtores de três municípios do estado do Ceará, no ano de 2006, constataram um índice de lucratividade média por hectare de R\$0,75 para cada real da receita bruta, destacando a utilização de mão de obra familiar como fator primordial para se ter competitividade, baixo custo de produção e um balanço energético mais elevado de 1,52 unidades produzidas, para cada unidade consumida pela produção de biodiesel. Contudo, para o balanço energético cultural, Silva, Esperanicini e Bueno (2010) obtiveram 8,26 unidades de energia produzida para cada unidade consumida na produção agrícola da mamona. Dias et al. (2008), Silva et al. (2009) e Silva et al. (2010) também destacaram a importância da mão de obra familiar, em vista da sua maior participação percentual nos custos totais. Silva et al. (2010), em estudo dos custos operacionais efetivos de produção e receita da mamona no Paraná, constataram a maior participação da mão de obra, seguida dos custos com insumos e gastos com máquinas e implementos em 64%, 21% e 15%, respectivamente, destacando que o produtor não conseguiu cobrir o custo

operacional médio com a receita obtida. Por outro lado, diversos são os trabalhos que apontam a viabilidade da irrigação localizada para um grande número de culturas (VILAS BOAS et al., 2011; SILVA; FARIA; REIS, 2003; BILIBIO et al., 2010). Entretanto, embora compensador, este sistema exige maiores níveis de capitalização em função dos elevados custos de implantação e condução da cultura irrigada (ESPERANCINI; PAES, 2005).

O custo total da produção, ou custo econômico (CT), conceituado como a soma de valores de todos os recursos (insumos) e operações (serviços) utilizados no processo produtivo de certa atividade, constitui-se da soma do custo fixo total (CFT) e custo variável total (CVT), ambos resultantes da soma de todos os pagamentos pelo uso dos recursos e/ou serviços empregados, incluídos a esses fatores de produção os respectivos custos alternativos ou de oportunidade (REIS, 2007). Os custos fixos (CFT) são aqueles correspondentes aos recursos duráveis (de longo prazo) que, em conjunto, determinam a capacidade produtiva da atividade (ou escala de produção), não sendo facilmente alteráveis no curto prazo (ou em um ciclo produtivo) e não se incorporam totalmente ao produto. Os custos variáveis (CVT), por outro lado, são aqueles com os recursos que têm duração de curto prazo, se incorporam totalmente ao produto no curto prazo e cujas alterações provocam variações na quantidade e na qualidade do produto, dentro do ciclo produtivo em análise, limitados pelos custos fixos. Ao considerar os custos, outra classificação importante para a análise divide-se em custo alternativo (CA), ou de oportunidade e custo operacional (REIS, 2007).

Os custos operacionais totais (Cop) constituem-se dos valores correspondentes às depreciações e aos insumos empregados, equivalentes ao prazo de análise. Os custos alternativos correspondem à remuneração que esses recursos teriam se fossem empregados na melhor das alternativas econômicas

existentes, entre elas arrendamento da terra, salário ou renda do empresário e a taxa de juros real da caderneta de poupança no período de estudo. Neste caso, a alternativa mais utilizada para as referidas análises é adotar a taxa de juros e/ou o arrendamento da terra. O custo econômico (CT) obtém-se da soma do custo operacional (CopT) e o custo alternativo (CA).

O custo operacional total (CopT) se divide em custo operacional fixo (CopF), composto pelas depreciações, e custo operacional variável (CopV), constituído dos desembolsos. A análise dos custos operacionais tem a finalidade de decisão em casos em que os retornos financeiros sejam inferiores ao de outra alternativa, representada pelos custos de oportunidade (REIS, 2007).

Com base nesses tipos de custos podem-se fazer importantes interpretações da rentabilidade da atividade, em comparação com outras alternativas de retorno financeiro, considerando os seus valores unitários (REIS, 2007). Desse modo, os custos operacionais avaliados, CopT, CopF e CopV, quando divididos pela quantidade produzida (q), resultam em seus respectivos valores médios unitários, tais como custo operacional total médio (CopTMe), custo operacional fixo médio (CopFMe) e custo operacional variável médio (CopVMe). De forma semelhante, essa análise é feita em termos de custo econômico, obtendo-se o custo total médio (CTMe), o custo fixo médio (CFMe) e o custo variável médio (CVMe).

Resultante das condições de mercado e rendimento da atividade produtiva (ou da empresa agrícola), a análise econômica da unidade produtiva em questão é assentada no trinômio produção, preço e custo da atividade. Essa análise é efetuada comparando-se a receita média (RMe) ou o preço recebido pelo produto (Py) com os custos totais médios, cujo balanço obtido resulta em lucro ou prejuízo a curto ou longo prazo. A receita média pode ser considerada

como o preço do produto mais o valor médio das vendas de explorações secundárias (subprodutos), Reis (2007).

Nesse contexto, na análise econômica, outro índice de rentabilidade é obtido quando se divide a receita bruta (RB) pelo custo total (CT), encontrando-se a relação benefício/custo (B/C), que expressa quantas vezes a receita remunera cada unidade do capital empregado na atividade produtiva.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Esse tópico é abordado em subdivisões conforme os itens abaixo.

#### 3.1 Características da área experimental e cultivar IAC 2028

O experimento com o cultivo de mamona, cultivar IAC 2028, foi conduzido na área de pesquisa do Laboratório de Biodiesel, no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, no período entre 15/3/2011 a 20/10/2011, ou entre 0 e 220 dias após a semeadura(DAS), Figura 1.



Figura 1 Área de cultivo da mamoneira irrigada por aspersão na etapa de estabelecimento aos 38 dias após a semeadura (DAS), 21/abril, e na diferenciação dos tratamentos irrigados por gotejamento aos 121 DAS. Lavras, MG, 2011.

O município de Lavras situa-se no sul do estado de Minas Gerais, nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 21°14'S e longitude 45°00'W, à altitude 918,841 m. A área experimental foi de, aproximadamente, 0,17 ha, com topografia uniforme e declividade média inferior a 12% no sentido norte/sul, perpendicular às linhas de plantio (nordeste/sudoeste).

### **3.1.1 Clima e base de dados meteorológicos**

Segundo a classificação climática proposta por Köppen, baseado nas Normais Climatológicas (1961 a 1990), o clima de Lavras é classificado como Cwa, ou seja, clima temperado chuvoso, com inverno seco e chuvas predominantes no verão subtropical (BRASIL, 1992).

Neste estudo, os dados referentes aos elementos meteorológicos foram mensurados nas proximidades dessa área, na Estação Climatológica Principal (ECP), pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em convênio com a UFLA. Os dados acessados da ECP contribuíram para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e a caracterização das condições meteorológicas no período experimental.

### **3.1.2 Solo e base de dados químicos e físico-hídricos**

O tipo de solo predominante na região em que esse experimento foi conduzido é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA, 2006). A implantação do experimento foi iniciada pelo preparo convencional do solo, consistindo, sequencialmente, de aração e gradagem a 0,20 m profundidade e o sulcamento com abertura manual de covas para o plantio de mudas de mamona, previamente formadas.

As análises, química e física (Tabela 1) indicaram um solo de textura argilosa e a não necessidade de correção do pH (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). Para a determinação da curva de retenção de água no solo, segundo modelo de Genuchten (1980), Equação 1, amostras foram coletadas nas camadas de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e de 0,40 a 0,60 m, determinando-se, em laboratório, oito pares de pontos coordenados de tensão e umidade do solo. Empregando-se o modelo computacional SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1995), determinaram-se os parâmetros (Tabela 2) das curvas em cada camada (Figura 2).

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

em que

- $\theta$  - umidade do solo atual ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );
- $\theta_r$  - umidade residual do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );
- $\theta_s$  - umidade de saturação do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );
- $\Psi_m$  - tensão matricial da água no solo (kPa);
- $\alpha, n, m$  - parâmetros de ajuste do modelo.

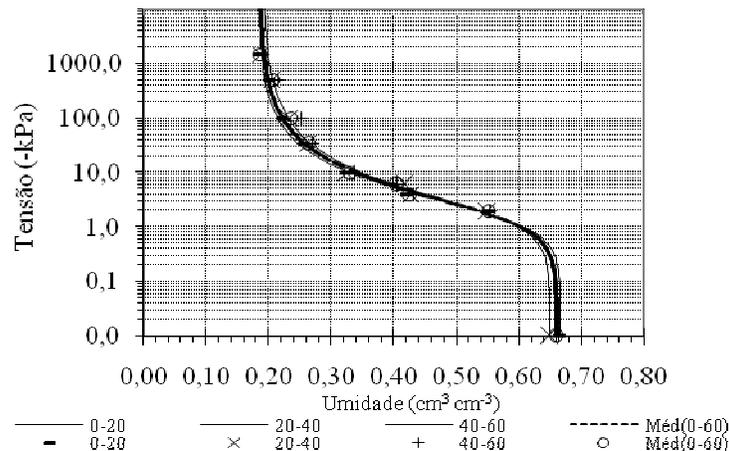


FIGURA 2 Curvas de retenção de água no solo nas camadas, de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m; 0,40 a 0,60 m e média de 0 a 0,60 m. Lavras, MG, 2011.

Nas três camadas também foram determinadas, por meio de amostras indeformadas coletadas em três pontos distintos da área experimental, a condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_o$ ) e a densidade do solo ( $d_s$ ). A porosidade do solo ( $P$ ) foi obtida analiticamente pela relação entre  $d_s$  e a densidade de partícula ( $d_p$ ), assim como a umidade do solo na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ), determinada pelo ponto de inflexão da curva segundo o método de Mello et al. (2002) (Tabela 2). Para fins de irrigação, a umidade do solo na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) foi considerada para a tensão matricial ( $\Psi_m$ ) de 6 kPa (CARVALHO; SAMPAIO; SILVA, 1996; MELLO et al., 2002).

TABELA 1 Resultados das análises químicas e físicas de três amostras compostas de solo da área experimental, coletadas nas camadas 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40 a 0,60 m. Lavras, MG, 2011\*

Símbolo	Descrição	Unidade	0 a 0,20 m	0,20 a 0,40 m	0,40 a 0,60 m
pH	Em água, KCl e CaCl <sub>2</sub>	-	6,3	5,8	5,5
P	Fósforo (Extr. Mehlich 1)	mg/dm <sup>3</sup>	16,8	2,9	3,1
K	Potássio (Extr. Mehlich 1)	mg/dm <sup>3</sup>	129	83	53
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio (Extr.: KCl)	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	3,5	2,2	1,7
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio (Extr.: KCl)	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0,8	0,6	0,5
Al <sup>3+</sup>	Alumínio (Extr.: KCl)	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0,2	0,3	0,6
H+Al	Ac. potencial (Extr.: SMP)	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	2,9	3,2	4,0
SB	Soma de bases	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	4,6	3,0	2,3
t	CTC efetiva	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	4,8	3,3	2,9
T	CTC a pH=7,0	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	7,5	6,2	6,4
V	Índ. de sat. de bases	%	61,5	48,2	36,6
m	Índ. de sat. de alumínio	%	4,1	9,1	20,4
Zn	Zinco (Extr. Mehlich 1)	mg/dm <sup>3</sup>	7,6	6,0	4,1
Fe	Ferro (Extr. Mehlich 1)	mg/dm <sup>3</sup>	47,1	44,5	38,8
Mn	Manganês (Extr. Mehlich 1)	mg/dm <sup>3</sup>	13,8	8,6	4,2
Cu	Cobre (Extr. Mehlich 1)	mg/dm <sup>3</sup>	0,7	0,7	0,7
B	Boro (Extr.: água quente)	mg/dm <sup>3</sup>	0,3	0,2	0,1
S	Enxofre (Ext.: PO <sub>4</sub> Ca, ác.acético)	mg/dm <sup>3</sup>	47,3	59,4	56,0
Mo	Mat. Orgânica	dag/kg	2,5	1,9	1,6
CE	Cond. elétrica	ms/cm	0,065	0,064	0,067
dp	Densidade partícula	kg/dm <sup>3</sup>	2,44	2,63	2,63
P-rem	Fósforo remanescente	mg/L	34,1	19,2	19,2
Areia	Areia	dag/kg	38,0	35,0	31,0
Silte	Silte	dag/kg	8,0	7,0	8,0
Argila	Argila	dag/kg	54,0	58,0	61,0
Textura	Classificação textural	-	Argilosa	Argilosa	Argilosa

\*Análises realizadas no Laboratório do Departamento de Ciência do Solo da UFLA.

TABELA 2 Características físico-hídricas do solo e parâmetros de ajuste do modelo de Van Genuchten (1980), para três camadas de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e de 0,40 a 0,60m. Lavras, MG, 2011

camada	Características físicas do solo*						Parâmetros do modelo de VG					
	Ko	ds	dp	P	$\theta_{cc}$	$\Psi_{cc}$	$\theta_s$	$\theta_r$	$\alpha$	n	m	R <sup>2</sup>
cm	mmh <sup>-1</sup>	gcm <sup>-3</sup>	gcm <sup>-3</sup>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	kPa	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	kPa <sup>-1</sup>	adm	adm	%
0-20	76,14	1,16	2,44	0,524	0,408	6,0	0,667	0,184	0,5504	1,6856	0,4067	99,2
20-40	34,18	1,34	2,63	0,489	0,402	7,0	0,65	0,187	0,5152	1,6436	0,3916	98,6
40-60	20,89	1,3	2,63	0,507	0,411	7,0	0,664	0,192	0,5953	1,6035	0,3764	98,8
Média	43,73	1,27	2,57	0,506	0,407	6,7	0,66	0,187	0,5524	1,642	0,3910	98,9

\* Análises de Ko a 23 °C e dp realizadas no Laboratório do Departamento de Ciência do Solo da UFPA. Ko, condutividade hidráulica do solo saturado; ds, densidade do solo; dp, densidade de partícula; P, porosidade do solo;  $\theta_{cc}$  e  $\Psi_{cc}$ , umidade e tensão matricial do solo na capacidade de campo, obtidos segundo Mello et al. (2002);  $\theta_s$ , umidade de saturação;  $\theta_r$ , umidade residual a 15atm;  $\alpha$ , n e m parâmetros de ajuste do modelo e R<sup>2</sup> coeficiente de determinação da regressão.

A capacidade de infiltração de água no solo foi caracterizada por meio testes de infiltração realizados com o cilindro infiltrômetro, confeccionado com tubo de PVC de 0,30 m de diâmetro interno, 0,40 m de comprimento e 0,009 m de espessura, obtendo-se, com os dados coletados, os parâmetros ajustados (Tabela 3) dos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton, por regressão não linear, conforme as Equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$i = a \cdot t^n \quad (2)$$

$$i = a \cdot t^n + i_f \quad (3)$$

$$i = i_f + (i_o - i_f) \cdot e^{-\beta \cdot t} \quad (4)$$

em que

i - taxa de infiltração instantânea ou infiltração (mmmin<sup>-1</sup>);

t - tempo (min);

$i_f$  - infiltração estável ou básica, VIB, (mmmin<sup>-1</sup>);

$i_o$  - infiltração inicial para t = 0, (mmmin<sup>-1</sup>);

a, n e  $\beta$  - parâmetros de ajuste de cada modelo.

TABELA 3 Resultados de dois testes de infiltração de água no solo com estimativa dos respectivos parâmetros de infiltrabilidade dos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton por regressão não linear. Lavras, MG, 2011.

Parâmetro*	unidade	Kostiakov		Kostiakov-Lewis		Horton	
		teste1	teste2	teste1	teste2	teste1	teste2
a	(mmmin <sup>-n-1</sup> )	236,37	228,87	161,10	168,18	...	...
a	(mmh <sup>-n-1</sup> )	63,77	57,12	18,17	12,70	...	...
n	(adm)	-0,32	-0,34	-0,53	-0,63	...	...
if	(mmh <sup>-1</sup> )	...	...	39,92	37,51	43,00	39,70
io	(mmh <sup>-1</sup> )	...	...	...	...	238,18	231,24
β	(h <sup>-1</sup> )	...	...	...	...	4,20	4,50
R <sup>2</sup>	(%)	96,20	95,00	85,60	80,00	94,70	90,80

\*a e n são parâmetros de ajuste que dependem do solo e das condições iniciais, respectivamente; io e if são a infiltrabilidade inicial e básica (ou estável ou VIB), respectivamente; β é o parâmetro de ajuste ou constante de decaimento. Obs.: Os dados observados com carga hidráulica de h=10 cm foram corrigidos pela função potencial  $f(h)=1.2912h^{-0.2904}$ , conforme Simões, Figueiredo e Silva (2005).

### 3.1.3 Características culturais da cultivar IAC 2028

A variedade cultivada foi a IAC 2028 que, segundo Savy Filho et al. (2007), tem as seguintes características: **a) gerais:** adapta-se às condições edafoclimáticas do estado de São Paulo, moderada suscetibilidade a doenças, tem porte baixo (150-180 cm) e ciclo precoce que varia de 150 a 180 dias após a emergência (DAE), frutos indeiscentes, com peso médio de 100 sementes de 45 g, teor de óleo em torno de 47%, produtividade média de grãos de 2.000 kg ha<sup>-1</sup> e exigências hídricas da cultura em torno de 700 mm; **b) práticas de manejo:** preferencialmente semeada nos meses de outubro e novembro, com atraso leva à queda gradativa do rendimento e na safrinha (fevereiro e março); a redução pode chegar a 50% dos valores médios de produtividade. O sistema de produção pode ser com o cultivo solteiro ou consorciado (feijão, gergelim, cucurbitáceas, milho), indicados arranjos populacionais de 5.000 a 10.000 plantas ha<sup>-1</sup> (cultivo de safra) ou de 11.000 a 20.000 plantas ha<sup>-1</sup> (cultivo na safrinha), na

dependência da disponibilidade hídrica, sistema de colheita e nível tecnológico a ser adotado; **b) raiz:** tem sistema radicular pivotante, profundo, raiz principal atingindo até 150 cm de profundidade e diâmetro de 5 cm. O número de raízes secundárias atinge até quinze e se concentra na faixa de 30 cm. As raízes laterais (diâmetro entre 0,7 e 1,4 cm) atingem até 100 cm de crescimento horizontal. A fitomassa do sistema radicular atinge 450 g; **c) caule:** tipo colmo, com comprimento até a primeira inflorescência em torno de 60 cm do solo; **d) folhas:** as primeiras folhas definitivas ocorrem aos 10 DAE; são do tipo afunilado, com orientação palmada e venação que varia de 8 a 11 veias principais, organização simples, forma de lâmina simétrica, ápice acuminado, base sagitada, margem esparsamente irregular, arquitetura palmatilobada; **e) flores e racemos:** a inflorescência é do tipo racemo, medindo entre 50 e 60 cm no racemo primário e 30 e 40 cm no secundário, e porcentagem de flores femininas de 90%. O racemo primário tem início aos 70 DAE, seguida dos secundários, aos 85 DAE e dos terciários, aos 105 DAE. Cada planta desenvolve um racemo primário, 5 a 7 secundários e de 7 a 9 terciários, com inserção a 60, 75 e 120 cm de altura, respectivamente. Neste trabalho foram consideradas as ordens de racemos primário, secundários, terciários em número máximo de 1, 3 e 6 unidades, respectivamente, e os laterais (ladrões) com número indefinido, conforme Weiss (1983): i) racemo primário: situado na bifurcação entre duas das três primeiras ramificações adjacentes mais vigorosas do caule principal (fuste); ii) racemos secundários: situados logo acima do primário, entre duas ramificações secundárias de cada uma das três ramificações primárias mais vigorosas; iii) racemos terciários: situados logo acima dos secundários, entre duas ramificações terciárias de cada ramo secundário e iv) racemos laterais (ladrões): situados na ramificações laterais oriundas do caule principal, logo abaixo dos três ramos primários mais vigorosos do fuste; **f) frutos:** indeiscentes, tipo cápsula valvar,

tricotada unisseminada por loco. Sementes albuminosas, oblongas, lisas e lustrosas, com carúncula.

### **3.2 Plantio e tratamentos culturais**

O cultivo da mamona IAC 2028 irrigada foi conduzido na área experimental sob preparo convencional do solo no período pré-estabelecido fora da estação chuvosa da região, entre março e outubro de 2011, com espaçamento de 0,75 x 1,20 m, ou população de cerca de 11.111,11 plantas por hectare. A cultura de mamona irrigada foi conduzida em três etapas, com ciclo de produção iniciado com a semeadura de sementes, em 15/3/2011 e encerrado em 20/10/2011, aos 220 dias após a semeadura (DAS), com a maturação de mais de 50% dos frutos de todos os racemos primários, secundários e terciários. Essas etapas consistiram na formação de mudas, no estabelecimento inicial da cultura no campo e na diferenciação dos tratamentos.

O plantio de mudas de mamona no campo foi adotado como opção alternativa para cumprir o cronograma e/ou o calendário planejado para a execução do experimento no ano de 2011. Dessa forma, as mudas produzidas em viveiro foram transplantadas em definitivo para o campo experimental quando atingiram mais de 0,1 m de altura e 0,005 m de diâmetro de caule, aos 38 DAS (21/abril), iniciando-se, assim, a etapa de estabelecimento inicial da cultura no campo.

Em campo, as mudas foram plantadas em covas abertas manualmente em sulcos e, imediatamente ao plantio, segundo recomendações de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) e Rodrigues Filho (2000), foi realizada a adubação de plantio com o adubo bórax (fonte boro), na dosagem de 0,00022 kg/planta (0,27 kg ha<sup>-1</sup> de boro) e 0,025 kg/planta (278 kg ha<sup>-1</sup>) do adubo formulado NPK 8-28-16, distribuído ao redor da planta e coberto com terra. A adubação de

cobertura foi realizada em duas aplicações, sendo a primeira 12 dias após o plantio das mudas, aos 50 DAS (3/maio), aplicando-se 0,0006 kg/planta de bórax ( $0,73 \text{ kg ha}^{-1}$  de boro), 0,015 kg/planta de sulfato de magnésio ( $155 \text{ kg ha}^{-1}$  de MgO) e 0,020 kg/planta ( $222 \text{ kg ha}^{-1}$ ) do adubo formulado NPK 20-0-20, distribuídos ao redor da planta; a segunda aplicação ocorreu aos 43 dias depois do plantio aos 81 DAS (3/junho), aplicando-se 0,025 kg/planta ( $278 \text{ kg ha}^{-1}$ ) do adubo formulado NPK 20-0-20. O controle de plantas daninhas no campo foi feito manualmente, com enxada e o ataque de pragas e de doenças não foi significativo, ao ponto de exigir o controle químico recomendado e os demais tratos culturais seguiram os recomendados para a cultura, conforme Rodrigues Filho (2000).

Na primeira semana da etapa de estabelecimento da cultura, foram aplicados 89 mm de água via irrigação por aspersão convencional, em todas as unidades experimentais, sendo 45 mm aplicados logo após o plantio, mais duas lâminas consecutivas de 22 mm cada. Essa etapa encerrou-se para o cultivo de sequeiro A0 (unidade experimental testemunha) com estiagem das chuvas (E0) aos 100 DAS (22/junho), logo após precipitações acumuladas de 34,2 mm, entre os 85 e 90 DAS. Já para as demais unidades experimentais foram aplicados 31 mm de água via irrigações complementares por gotejamento e encerrou-se esta etapa com o início da etapa de diferenciação dos tratamentos, aos 104 DAS (26/junho). Nessa última etapa, os tratamentos foram diferenciados pelas lâminas de água aplicadas e pelas épocas de suspensão da irrigação imediatamente após definidos os estádios fenológicos da cultura. Esses estádios E0, E1, E2, E3, E4 e E5 ocorreram aos 86, 120, 149, 177, 196 e 220 DAS, respectivamente.

### 3.3 Tratamentos e delineamento estatístico experimental

O experimento foi conduzido sob delineamento em blocos casualizados (DBC), num esquema fatorial de dois fatores (5 x 5) com três repetições. O primeiro fator foi constituído por níveis de reposição de água do solo (A), sendo, respectivamente, composto pela testemunha sem irrigação (A0) e dos cinco níveis do fatorial A1, A2, A3, A4 e A5 correspondentes a 0%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da lâmina de água de referência (A3 = 100%) necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo (CC). O segundo fator foi constituído por épocas de suspensão da irrigação (E), sendo, respectivamente, composto pela testemunha (E0) e pelos cinco níveis do fatorial E1, E2, E3, E4 e E5, correspondentes à suspensão da irrigação nos estádios E0, E1, E2, E3, E4 e E5. Dessa forma, o esquema fatorial constituiu-se da combinação 5 x 5, em 25 tratamentos (A1E1, A1E2,..., A5E4, A5E5) e três testemunhas A0E0, conforme a ilustração da Figura 3.

A etapa de estabelecimento da cultura E0 foi definida de forma a promover o estabelecimento e a uniformização das plantas com base nas chuvas ocorridas no final da estação, irrigações iniciais e no estádio E0, até o início da etapa seguinte de diferenciação dos tratamentos. Distintamente de E0, o estádio fenológico E0 foi definido com base no índice de área foliar IAF de 0,1, conforme Allen et al. (1998). Esse e os demais consecutivos estádios fenológicos foram definidos no tratamento referência A3E5, quando mais de 50% das plantas úteis apresentaram-se em antese primária (E1) e secundária (E2), e maturação primária (E3), secundária (E4) e terciária (E5) em mais de 50% dos frutos. As interrupções da irrigação mantiveram-se até o final do ciclo (E5), visando atingir (a depender da ocorrência de chuvas) a umidade na camada de 0 a 0,40 m próxima do ponto de murcha permanente (Pmp).

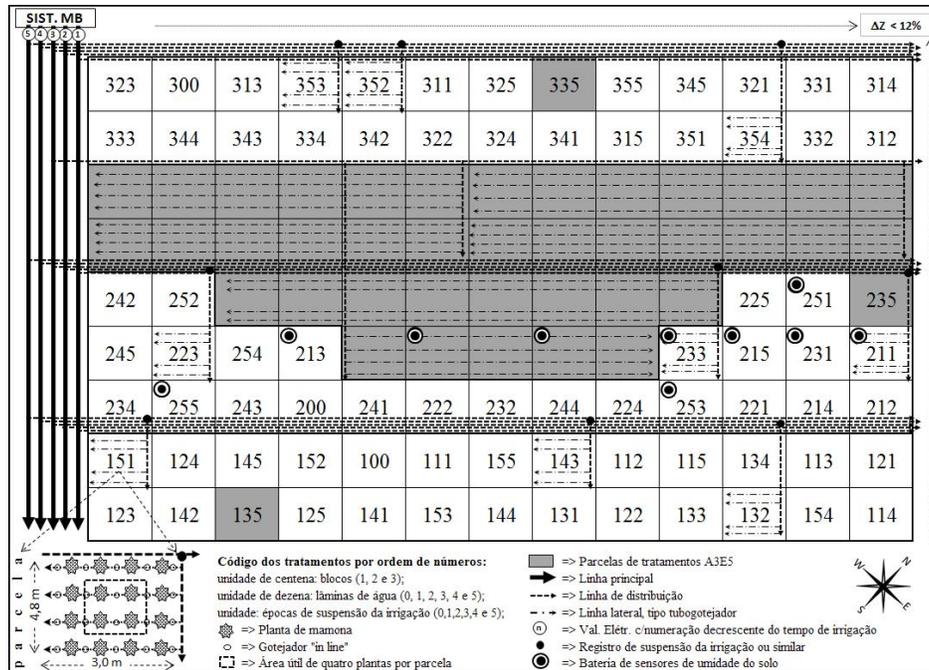


FIGURA 3 Croqui da área experimental, identificadas as parcelas por numeração (bloco/fator-A/fator-E) com detalhes da parcela 151, sistema de irrigação com distribuição demonstrada em algumas parcelas, bateria de sensores de umidade do solo e orientação de plantio. Lavras, MG, 2011.

Cada parcela experimental foi constituída por quatro fileiras de quatro plantas, sendo úteis as quatro plantas centrais, ocupando área de 3,6 m<sup>2</sup>, num total de dezesseis plantas por parcela com área de 14,4 m<sup>2</sup> e o somatório de 78 parcelas. Ao centro da área foram reservadas mais 39 parcelas do tratamento referência (A3E5) para amostragem e extração de plantas, para a determinação da matéria seca de planta e da maturação de frutos.

### 3.4 Sistema de irrigação e manejo

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, instalado com os seguintes componentes: unidade de bombeamento, filtro de areia e de discos, manômetro, válvulas elétricas, controlador programável STP-900i (Rain Bird), usado na automação do sistema de irrigação (Figura 4), visando repor a lâmina d'água acusada indiretamente pelos tensiômetros, além de linha principal, de distribuição e lateral, registros e acessórios. As linhas principais foram de PEBD 32 mm de diâmetro e de PEBD de 16 mm, para as linhas de distribuição em cada tratamento de lâminas de água aplicada (fator-A).



FIGURA 4 Registros, válvulas elétricas e filtro de areia (A); painel de programação da irrigação (B); sensores HidroFarm (C); bateria de tensiômetros (D); Watermark (E, à esquerda) e HidroFarm (E); tensiômetro e leitor de tensão (tensímetro) em conjunto (F, à direita). Lavras, MG, 2011.

As linhas laterais foram do tipo tubogotejador autocompensante de PEBD de 13 mm de diâmetro, com gotejadores inclusos espaçados de 0,75 m, operando à vazão de 2,1 L h<sup>-1</sup> e pressão nominal de 200 kPa. As linhas laterais foram distribuídas na linha de plantio com gotejadores entre duas plantas, formando uma faixa molhada (fw) de 22,0% mantida praticamente constante.

O momento de irrigação foi definido pela tensão matricial da água no solo, medido em quatro tensiômetros instalados a 0,30 m de profundidade no tratamento controle ou referência A3E5. As irrigações foram realizadas toda vez que a tensão matricial média a 0,30 m de profundidade, conforme Silva et al. (1998), atingisse o valor de 26 kPa, correspondente ao fator de esgotamento *f* de 0,6, conforme Allen et al. (1998) e Doorenbos e Kassan (1979), considerando a umidade na capacidade de campo como sendo de 6 kPa e a profundidade efetiva (*z*) de 0,4 m segundo Amaral, Silva e Beltrão (2005) e Brasil (2006). Foram instaladas, em dois locais da área experimental de tratamentos A3E5, duas baterias de tensiômetros contendo cada uma dois deles, nas profundidades de 0,30 m, 0,35 m e 0,45 m e um a 0,15 m. Também foram instalados, a 0,30 m de profundidade, tensiômetros e sensores do tipo wartemark e Hidrofarm para o monitoramento da umidade nos tratamentos notáveis (extremos representativos) A1E1, A1E3 e A1E5, A3E1, A3E3 e A3E5 e A5E1, A5E3 e A5E5, conforme Figuras 3 e 4.

As leituras em kPa dos tensiômetros foram realizadas diariamente entre 8 e 9 horas da manhã, utilizando-se um leitor digital de punção (tensímetro) e corrigidas para determinação da tensão de água no solo na profundidade desejada, conforme Equação 5.

$$\psi = L - 0,098 \cdot h \quad (5)$$

em que

$\Psi$  - tensão matricial da água no solo à profundidade *Z* (kPa);

*L* - leitura no tensímetro digital em kPa (em valor absoluto);

h - altura do ponto de leitura no tensiômetro à cápsula porosa (cm).

A lâmina de irrigação e o tempo de aplicação, de acordo com Cabello (1996), foram calculados com base nas Equações 6, 7, 8 e 9.

$$LLI = (\theta_{cc} - \theta_i) \cdot z \cdot fw \quad (6)$$

$$LBI = \frac{LLI}{(1 - k) \cdot CUD} \quad (7)$$

$$k = \begin{cases} Pp = 1 - Ea & \text{se, } Pp \geq RL \\ RL = \frac{CEi}{2 \cdot CEe} & \text{se, } Pp < RL \end{cases} \quad (8)$$

$$t = \frac{LBI \cdot Ap}{e \cdot q} \quad (9)$$

em que,

LLI - lâmina líquida de irrigação necessária (mm);

$\theta_{cc}$  - umidade do solo na capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_i$  - umidade atual do solo no momento de irrigação ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

z - profundidade efetiva do sistema radicular (mm);

fw - fração de área molhada (0 a 1);

LBI - lâmina bruta de irrigação (mm);

k - constante da eficiência do sistema e/ou da salinização do solo (0 a 1);

CUD - coeficiente de distribuição do sistema de irrigação 0,95 (0 a 1);

Pp - porcentagem de perda por percolação profunda (0 a 1);

Ea - eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (0,9);

RL - razão de lixiviação (adm);

CEi - condutividade elétrica da água de irrigação ( $\text{dSm}^{-1}$ );

CEe - condutividade elétrica do extrato de saturação do solo ( $\text{dSm}^{-1}$ );

t - tempo de irrigação (horas);

Ap - área ocupada por planta ( $\text{m}^2$ );

e - número de emissores (gotejadores) por planta;

q - vazão média dos emissores (gotejadores) ( $\text{L h}^{-1}$ ).

A condutividade elétrica do solo (CEs) na camada de 0 a 0,6 m e a da água de irrigação (CEi) utilizadas neste estudo foram, em média, de 0,065 dS/m e 0,09 dS/m, classificadas dentro da faixa normal de solos (<4 dS/m) e sem nenhuma restrição ao uso dessa água para a irrigação (<0,7 dS/m). Na literatura,

faltam essas informações quanto à tolerância da mamoneira em relação à condutividade elétrica do solo (CEs) e da água de irrigação (CEi).

O consumo total de água pela cultura ou a lâmina acumulada (Lac, mm) ao final do ciclo de cultivo de cada tratamento foi contabilizada considerando-se as lâminas brutas de irrigação (LBI, mm) e a precipitação efetiva (Pe, mm), conforme considerações feitas por Sampaio et al. (2000) e Silva e Marouelli (1998) e adaptações do método recomendado pelo Azevêdo et al. (2003), segundo as Equações 10, 11 e 12. Considerou-se, para o cálculo da Pe, a lâmina real disponível (LRD) fixa correspondente à reposição da umidade à capacidade de campo a partir de 26 kPa ( $f = 0,6$ ) apenas na fase inicial de estabelecimento da cultura no campo até os 103 DAS, quando se observou a maior concentração de chuvas, não ocorrendo diferenciação dos tratamentos e as irrigações complementares realizadas nesta fase. Para a fase de diferenciação dos tratamentos, LRD variou com a umidade do solo do tratamento referência A3E5. Esse procedimento se justificou em razão da condução do experimento em campo, visto que o consumo hídrico da cultura para os diferentes níveis de tratamentos via irrigação também foi atendido, ainda que não efetivamente, pelas precipitações (Pt).

$$LRD = (\theta_{cc} - \theta_a) \cdot z \cdot fw \quad (10)$$

$$Pe_{(i)} = \begin{cases} Pt_{(i)} & \text{se, } Pt_{(i)} \leq LRD_{(i)} \\ LRD_{(i)} & \text{se, } Pt_{(i)} > LRD_{(i)} \end{cases} \quad (11)$$

$$Lac = \sum_{i=1}^n (LBI + Pe)_i \quad (12)$$

em que

LRD - lâmina real disponível de elevação à capacidade de campo, (mm);

$\theta_{cc}$  - umidade do solo na capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_a$  - umidade atual do solo no momento de leitura ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

z - profundidade efetiva do sistema radicular (mm);

fw - fração de área molhada (0 a 1);

Pe (i) - precipitação efetiva acumulada do dia i, (mm);  
Pt (i) - precipitação total acumulada do dia i, (mm);  
Lac - lâmina acumulada no ciclo de cultivo de cada tratamento, (mm);  
LBI - lâmina bruta de irrigação (mm).

Após a montagem do sistema, foram realizados testes para determinar a vazão média do gotejador e o coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) do sistema de irrigação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2005). A eficiência de aplicação de água pelo sistema de irrigação (Ea) foi considerada de 90%, conforme Bernardo et al. (2005) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) avaliado em 95%. Foram avaliados, ainda, para os tratamentos do fator-A (40%, 70%, 100%, 130% e 160%) dos três blocos, aos 105 DAS (27/6), 115 DAS (7/7) e 120 DAS (12/7), o diâmetro de disco molhado do bulbo, escarificando-o diametralmente com um canivete, na profundidade do solo de cerca de 3 cm, utilizando-se uma régua, conforme os valores médios apresentados na Figura 5.

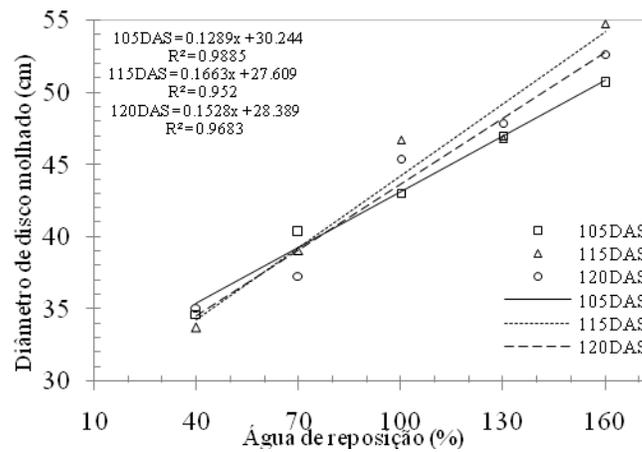


FIGURA 5 Valores médios do diâmetro de disco molhado do bulbo de irrigação dos tratamentos A1, A2, A3, A4 e A5 determinados aos 105 DAS (27/6), 115 DAS (7/7) e 120 DAS (12/7). Lavras, MG, 2011.

### 3.5 Evapotranspiração

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi estimada adotando-se o coeficiente de cultura (Kc) obtido por Rios et al. (2011a) e a evapotranspiração de referência (ETo), seguindo recomendações de Allen et al. (1998). A evapotranspiração de referência diária ETo foi calculada segundo Allen et al. (1998), pelo método Penman-Monteith-FAO (Equação 13).

$$ETo = \frac{s}{s + \gamma^*} \cdot (Rn - G) \cdot \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{s + \gamma^*} \cdot \frac{900}{(T + 273)} \cdot U_2 \cdot (es - ea) \quad (13)$$

em que

- ETo - evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);
- s - declividade da curva de pressão de saturação de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>);
- γ - coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>);
- γ\* - coeficiente psicrométrico modificado (kPa °C<sup>-1</sup>);
- Rn - saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>);
- G - fluxo de calor no solo (G = 0,0 MJ m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>, na escala diária);
- λ - calor latente de evaporação da água (MJ kg<sup>-1</sup>);
- T - temperatura média diária do ar (°C);
- U<sub>2</sub> - velocidade média do vento à altura de 2 m (m s<sup>-1</sup>);
- es - pressão de saturação de vapor d'água (kPa);
- ea - pressão atual de vapor d'água (kPa);
- (es - ea) - déficit de pressão de vapor d'água (kPa).

Os parâmetros da Equação 13 foram calculados com os dados obtidos da Estação Climatológica Principal (ECP, INMET/UFLA), seguindo os passos e os procedimentos recomendados por Allen et al. (1998).

A evapotranspiração real da cultura ETr foi calculada para os tratamentos de lâmina A1, A3 e A5, nas respectivas épocas de suspensão da irrigação E1, E3 e E5, determinadas conforme Bernardo et al. (2005), pelas Equações 14, 15, 16 e 17.

$$ETr = Ks \cdot ETc \quad (14)$$

$$K_s = \frac{\text{Ln}(LAA + 1)}{\text{Ln}(CTA + 1)} \quad (15)$$

$$LAA = (\theta_a - \theta_{\text{pmp}}) \cdot z \cdot fw \quad (16)$$

$$CTA = (\theta_{\text{cc}} - \theta_{\text{pmp}}) \cdot z \cdot fw \quad (17)$$

em que

$K_s$  - coeficiente de umidade do solo (adm);

$\text{Ln}$  - logaritmo neperiano;

LAA - lâmina atual de água no solo (mm);

CTA - capacidade total de água no solo (mm);

$\theta_{\text{cc}}$  - umidade do solo na capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_a$  - umidade atual do solo no momento de leitura ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_{\text{pmp}}$  - umidade do solo no ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$z$  - profundidade efetiva do sistema radicular (mm);

$fw$  - fração de área molhada (0 a 1).

### 3.6 Variáveis vegetativas avaliadas periodicamente

Avaliações periódicas a cada uma e/ou duas semanas foram feitas para determinar as características fenológicas da parte aérea da planta, algumas dessas avaliadas para a determinação de estádios fenológicos da cultura (Eo, E1, E2, E3, E4 e E5), exclusivamente nos tratamentos A3E5, tais como porcentagem de frutos maduros dos racemos primários (PFr.M1), secundários (PFr.M2) e terciários (PFr.M3); matéria seca da parte aérea da mamoneira (MSPA), particionada em matérias seca do caule e pecíolos foliares (MSC); matéria seca caulinar total (exceto limbos foliares e raízes), incluídas inflorescências, frutos e racemos (MSCT), e em matéria seca do limbo foliar (MSF), área foliar específica (AFE), área foliar unitária (Ax) e total por planta (AFP). Em cada avaliação, essas variáveis foram obtidas pela média de três plantas extraídas ao acaso nas parcelas A3E5. A área foliar específica (AFE) foi determinada pela razão entre AFP e MSF e pelo método do disco. A matéria seca da parte aérea da planta foi determinada com a pesagem após secagem em estufa com circulação

forçada de ar, a 65 °C, até a obtenção de massa constante e a maturação dos frutos, estimada por amostragem de frutos de cada ordem de racemo (FANAN et al., 2009), conforme ilustrado na Figura 6.



FIGURA 6 Grau de maturação de frutos da mamona. Pirâmide de maturação de base com os frutos imaturos ou fase de início de enchimento dos grãos e maturação completa no topo (A); grãos cheios e aquosos sem tegumento formado (B e C); grãos cheios com tegumento formado, leitosos e em maturação fisiológica (D e E). Lavras, MG, 2011.

As demais características fenológicas foram determinadas em todos os tratamentos. Entre elas, altura de planta (HP), menor (D1) e maior (D2) diâmetro de copa, comprimento do folíolo principal da folha (P) e largura foliar (L) por cada terço ou estrato inferior (Pi e Li), médio (Pm e Lm) e superior (Ps e Ls) da copa da planta, área de folha do estrato inferior (Ai), estrato médio (Am) e superior (As), número total de folhas por planta (NFT), particionado em número de folhas completas “maduras” anteriores à marcação inclusive (NFA) e número

de folhas completas “novas” posterior à marcação exclusiva (NFP), número de plantas com ramos laterais (NPR) e número de plantas com emissão de inflorescência ou presença de racemos primários (NPIP), secundários (NPIS) e terciários (NPIT) em fase de antese.

O número de folhas total por planta (NFT) foi determinado pela contagem de folhas completamente desenvolvidas e/ou totalmente abertas, utilizando-se de marcação das folhas com pedaços de cordões vermelhos. Em cada avaliação, essa contagem foi realizada em uma das quatro plantas úteis estabelecidas por parcela. Na primeira avaliação, a contagem de folhas da planta, de baixo para cima, foi feita apenas até a folha completa mais nova, marcando-a com o cordão. Nas avaliações subsequentes, com o desenvolvimento da planta, repetia-se a contagem correspondente ao número de folhas até a folha marcada com o cordão (NFA) e, em seguida, contabilizavam-se, para além dessa, as demais folhas mais novas e completamente abertas surgidas, correspondentes ao número de folhas posteriores (NFP), providenciando-se a remarcação do cordão para essa última folha mais nova e/ou acrescentando-se mais cordões às folhas das novas ramificações da planta. Já o número de plantas com ramos laterais (NPR), com emissão de inflorescência ou presença de racemos primários (NPIP), secundários (NPIS) e terciários (NPIT), foram contabilizados em todas as quatro plantas úteis por parcela, a exemplo do NPR, em cuja contagem considerou-se o número de plantas úteis que apresentaram ramos laterais (ou ladrões) surgidos no fuste abaixo dos três ramos principais possíveis, junto à inserção do racemo primário.

A altura de planta (HP), definida como sendo a altura vertical do meristema apical (gema) mais alto em relação ao solo, as dimensões lineares da folha (P e L), conforme Severino et al. (2004) e Rios et al. (2011b), e da copa (D1 e D2), foram mensuradas com régua graduada, sendo P o comprimento do

maior lóbulo a partir da inserção do pecíolo da folha; L, a distância entre as extremidades de dois lóbulos que se aproximam perpendicularmente da direção de P; D1, o menor diâmetro perpendicular à copa e D2, o maior diâmetro, definido pelo maior comprimento longitudinal perpendicular à copa, Figura 7.

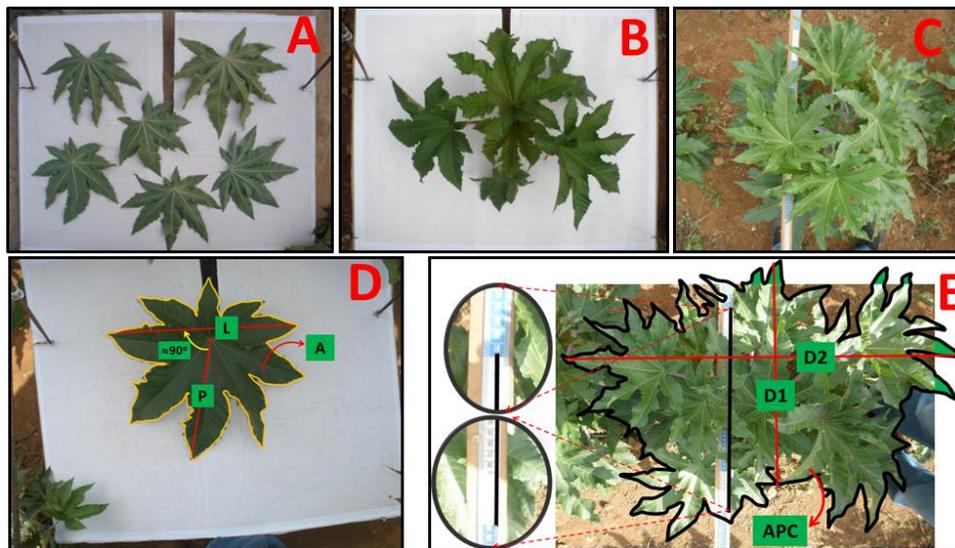


FIGURA 7 Medidas da folha e copa da planta com o uso de um invento acoplado à câmera fotográfica digital para a mensuração das dimensões área da folha, com (A) e sem extração da planta (D, indicado o comprimento da nervura principal, P; largura da folha, L e área foliar, A), das dimensões da área da projeção da copa da planta (B) e com uso de uma régua junto à cena para a obtenção das dimensões e da área da projeção da copa da planta (C e E, indicadas as variáveis diâmetros menor, D1; maior, D2 e área de projeção da copa da planta, APC).

A área foliar total por planta (AFP), a área de projeção da copa (APC), a área foliar unitária dos três estratos da planta ( $A_i$ ,  $A_m$ ,  $A_s$ ) e as dimensões lineares de folha e de copa (P, L, D1 e D2) foram também medidas por diferentes métodos fotográficos em amostragens destrutivas e não destrutivas,

em avaliações expeditas de campo, conforme ilustrado na Figura 7. Essas medidas obtidas das avaliações com as fotos foram processadas no programa de uso livre ImageJ. Para testar e validar, entre outros métodos, os diferentes métodos fotográficos, ensaios foram feitos e os dados confrontados com os dados obtidos pelo método tido como padrão, utilizando-se o scanner LI-cor 3000, conforme Rios et al. (2011b).

### 3.6.1 Área foliar unitária ou área de uma folha

A área de cada folha da planta ( $A_x$ ) ou de cada estrato da planta ( $A_i$ ,  $A_m$  e  $A_s$ ) foi estimada pelo método do scanner (LAI-3000), modelos matemáticos, método do disco e método fotográfico, com o uso em amostras destrutivas e não destrutivas. O método do scanner (LAI-3000) foi utilizado para testar e validar os demais métodos, obtendo-se os valores de área foliar por amostragens destrutivas por classes de largura de folha (L) de 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm e 50-60 cm, correspondentes às áreas entre 70-200 cm<sup>2</sup>, 200-500 cm<sup>2</sup>, 500-800 cm<sup>2</sup>, 800-1.100 cm<sup>2</sup> e 1.100-1.500 cm<sup>2</sup>, medidas no scanner LAI-3000, conforme Rios et al. (2011b). Os modelos matemáticos utilizados nas avaliações periódicas foram o modelo simples a1 ( $0,2622 * P^{2,4248}$ ) e o modelo b2 [ $A=0,3526(P+0,5L)^2$ ], conforme Severino et al. (2004) e Rios et al. (2011b), sendo este último o modelo escolhido para a melhor estimativa de AFP e IAF dos tratamentos.

O método do disco estima a área foliar específica (AFE) que, tida como constante, por sua vez, serve para a estimativa da área de uma folha ( $A_x$ ) ou o total de folhas por planta (AFP), obtido pelo produto entre AFE e a massa seca da folha ou do total de folhas por planta (MSF). A área foliar específica média (AFE) foi estimada pela relação entre AFP e MSF e pelo método do disco, cujo valor médio de AFE estimado por esse método foi o escolhido para as

estimativas de AFP e IAF dos tratamentos. O valor médio da AFE (142,472  $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$ ), estimado pelo método do disco aos 120 DAS (13/7), foi obtido conforme Rios et al. (2011b) e Lima, Peixoto e Ledo (2007), extraíndo-se dez discos foliares por estrato (ou terço) da copa da planta (inferior, médio e superior), amostrados nos lóbulos centrais com e sem nervura, mediante o uso do vazador foliar, em três plantas (repetições) amostradas ao acaso. A área foliar (md) foi estimada por esse método do disco.

O método fotográfico, empregando-se o protótipo do invento acoplado à câmera fotográfica, foi utilizado para a estimativa da área foliar obtida diretamente da foto em amostras destrutivas de folhas extraídas da planta (afe), apresentando excelente desempenho em relação ao método do scanner (LAI-3000), segundo Rios et al. (2011b). Esses mesmos método e protótipo foram utilizados para a estimativa da área foliar obtida diretamente da foto em amostras expeditas não destrutivas de folhas avaliadas no campo (afc) e, indiretamente, em combinação com o método matemático, pela obtenção de medidas lineares da folha (P e L) da foto para a estimativa da área foliar obtida em amostragens expeditas não destrutivas de folhas avaliadas no campo (mfc). Com o uso exclusivo do método matemático do modelo b2, alimentado pelas medidas lineares da folha (P e L) obtidas com uso de régua graduada, foi estimada a área foliar em amostras expeditas de folhas avaliadas no campo (mec).

### **3.6.2 Área foliar total por planta**

A área foliar total por planta (AFP) é, por definição, o somatório da área de todas as folhas da planta e, neste trabalho, ela foi determinada por amostragem destrutiva pelo método da foto e estimada por amostragem não destrutiva. Para a estimativa da AFP da mamoneira, foi desenvolvida uma

metodologia prática baseada no teorema do valor médio para integrais e nas seguintes hipóteses: a) a área de cada folha da planta segue uma distribuição normal; b) há diferenciação do tamanho e forma de folhas ao longo do ciclo da planta e dos níveis de estrato da copa e c) a área foliar média ( $A_{méd}$ ) representa o valor médio da distribuição normal de folhas da planta. A  $A_{méd}$  foi obtida pela média das áreas de folhas avaliadas ao acaso no estrato inferior ( $A_i$ ), médio ( $A_m$ ) e superior ( $A_s$ ) da planta. Dessa forma, AFP foi estimada segundo as Equações 18 e 19.

$$A_{méd} = \frac{A_i + A_m + A_s}{3} \quad (18)$$

$$AFP = NFT \cdot A_{méd} \quad (19)$$

em que

- $A_{méd}$  - área foliar média das folhas da planta ( $\text{cm}^2$ );
- $A_i$  - área de folha do estrato inferior da planta ( $\text{cm}^2$ );
- $A_m$  - área de folha do estrato médio da planta ( $\text{cm}^2$ );
- $A_s$  - área de folha do estrato superior da planta ( $\text{cm}^2$ );
- AFP - área foliar total por planta estimada ( $\text{cm}^2$ );
- NFT - número de folhas total por planta (unidades).

Na estimativa da área foliar total por planta (AFP), pelas medidas de área de cada folha ( $A_x$ ) ou de cada estrato da planta ( $A_i$ ,  $A_m$  e  $A_s$ ), foi utilizado o método da fotografia com o emprego do protótipo, em amostras destrutivas de folhas extraídas da planta (AFP.afe) e em amostras não destrutivas de avaliações expeditas de campo (AFP.afc) e, dessa mesma forma, em combinação com o método matemático alimentado por médias lineares da folha obtidas no campo com o auxílio do protótipo (AFP.mfc). Com o uso exclusivo do método matemático do modelo b2, alimentado pelas medidas lineares da folha (P e L) obtidas com uso de régua graduada, foi estimada a área foliar total por planta em amostras expeditas no campo (AFP.mec), resguardada a importância da metodologia de contagem de folhas. Por fim, com o auxílio do método do disco

(para determinação da área foliar específica, AFE) e mediante matéria seca foliar total por planta (MSF), a área foliar total por planta (AFP.md) foi estimada. De posse desses resultados, os respectivos índices de área foliar (IAF) foram estimados.

### 3.6.3 Índice de área foliar e fração de cobertura do solo

O índice de área foliar (IAF), dado pela razão entre a área foliar da planta ou população (AFP) e a área do terreno ocupada pela planta (Au), foi calculado para cada método (IAFafe; IAFafc; IAFmfc; IAFmec e IAFmd) empregado na estimativa da área foliar total por planta (AFP.afe; AFP.afc; AFP.mfc; AFP.mec e AFP.md), conforme Equação 20.

$$IAF = \frac{AFP}{Au} \quad (20)$$

em que

- IAF - índice de área foliar ( $m^2 m^{-2}$ );
- AFP - área foliar total por planta ( $m^2$ );
- Au - área útil por planta ( $m^2$ ).

Os métodos de determinação de IAFafe e IAFmd consistiram na medida de área de foliar total por planta, com o uso da foto de folhas extraídas da planta (IAFafe) e sua estimativa pelo método do disco (IAFmd), utilizando-se AFE e MSF. Os métodos de determinação de IAFafc, IAFmfc e IAFmec foram estimados em avaliações diretamente na planta, mediante a contagem de folhas (NFTe) e estimativas da área foliar unitária por estratos da planta, área medida diretamente com o uso da foto (IAFafc), por modelo matemático função de medidas lineares da folha obtidas por foto (IAFmfc) e por régua em avaliações expeditas diretamente na planta e no campo (IAFmec).

A fração de cobertura do solo pela cultura (fc) foi estimada em três etapas, considerando: a) o desenvolvimento inicial da copa anterior à sobreposição das

plantas na fileira de plantio ( $D \leq Sp$ ) com conformação circular; b) a cobertura do solo com o desenvolvimento da cultura entre fileiras de plantas dependente apenas do espaçamento entre fileiras ( $Sf$ ), na condição desse ser maior que o espaçamento entre plantas ( $Sp \leq D \leq Sf$ ) e c) o desenvolvimento para além do espaçamento entre fileiras ( $Sf$ ) corresponde à cobertura máxima do solo ( $D \leq Sf$ ), à semelhança de Rios et al. (2011a), Equação 21.

$$fc = \begin{cases} (\pi D^2 / 4) / (Sp \cdot Sf) \cdot 100 & \text{se } D \leq Sp \\ D / Sf \cdot 100 & \text{se } Sp < D \leq Sf \\ 100 & \text{se } D > Sf \end{cases} \quad (21)$$

em que

fc - fração de cobertura do solo pelo dossel da planta ou cultura (%);

D - diâmetro médio de projeção da copa ou dossel da planta (m);

Sp - espaçamento entre plantas dentro da fileira de plantas (m);

Sf - espaçamento entre fileiras de plantas (m).

O diâmetro médio de projeção da copa (D) utilizado para a estimativa da fc foi obtido pela média entre o menor (D1) e o maior (D2) diâmetro de copa.

### 3.6.4 Estádios e fases fenológicas da cultura

As fases I, II, III e IV e os estádios Eo, E1, E3, E4 e E5 foram determinados para o cultivo mantido sob condições ótimas dos fatores de produção, ou seja, para o tratamento referência (A3E5). As fases consecutivas I, II, III e IV, respectivamente denominadas de fase inicial de crescimento (I), fase vegetativa (II), fase intermediária ou de produção (III) e fase de maturação ou senescência (IV), foram determinadas conforme critérios e adaptações de Allen et al. (1998) e Rios et al. (2011a), considerando-se, para o início e/ou o encerramento final dessas fases, a fração de cobertura do solo fc de 10% (final da fase I), o surgimento das inflorescências secundárias (final da fase II, estágio E2) e a maturação fisiológica dos frutos dos racemos secundários (final da fase III, estágio

E4) e terciários (final do ciclo ou da fase IV, estágio E5). Os estádios consecutivos Eo, E1, E2, E3, E4 e E5, respectivamente denominados de estágio inicial de crescimento (Eo, equivalente ao final da fase I), estágio de surgimento das inflorescências primárias (E1) e secundárias (E2, equivalente ao final da fase II) e estágio de maturação dos racemos primários (E3), secundários (E4, equivalente ao final da fase III) e terciários com o final do ciclo de cultivo (E5, equivalente ao final da fase IV), foram determinados conforme o surgimento de inflorescências ou a maturação dos frutos em mais de 50% da população de plantas, considerando, para o surgimento, as inflorescências em fase de antese (abertura das primeiras flores) e, para a maturação, mais de 50% dos frutos em fase de maturação fisiológica, com tegumento formado e grãos cheios e leitosos (Figura 6D e E).

### **3.7 Variáveis componentes de produção**

As componentes de produção dos tratamentos, por ordem de racemos primária (P), secundária (S) e terciária (T), foram obtidas para o número de racemos primários (NRP), secundários (NRS), terciários (NRT) e total por planta (NTR); número de frutos primários (NFP), secundários (NFS) e terciários (NFT) por racemo; massa de frutos primários (MFP), secundários (MFS) e terciários (MFT) por racemo; fração de grãos-frutos dos racemos primários (FgfP), secundários (FgfS) e média (FgfM); porcentagem de grãos chochos dos racemos primários (PXP), secundários (PXS), terciários (PXT) e total por planta (PTX); do número de grãos chochos por racemo primário (NXRP), secundário (NXRS) e terciário (NXRT); rendimento de frutos dos racemos primários (RFP), secundários (RFS), terciários (RFT) e total de frutos por planta (RTF); peso de mil grãos dos primários (PMilGP), secundários (PMilGS) e médio por planta (PMilGM); peso, em hectolitro, dos grãos primários (PHP), secundários (PHS) e médio por planta (PHM); teor de água (TU) e teor de óleo dos grãos (TO).

Os racemos primário, secundários, terciários e laterais (ladrões) são oriundos das respectivas inflorescências, já definidos anteriormente, conforme Weiss (1983). Ao final do ciclo produtivo, foi realizada a colheita dos racemos das quatro plantas úteis por parcela, por ordem de racemos primário, secundário, terciário e lateral (ladrão), utilizando-se tesouras de poda, redes de plástico e etiquetas, seguidas das etapas de extração manual e contagem dos frutos e racemos por parcela e secagem dos frutos colhidos. Cabe ressaltar que, neste estudo, não foi constatada a presença de racemos quaternários e que a produção dos racemos laterais foi nula ou muito baixa, em todos os tratamentos.

A secagem foi realizada, numa primeira etapa, ao natural, sobre piso pavimentado, dentro de estufa, por cerca de 30 dias após a colheita. Em seguida, foi feita uma secagem complementar artificial, para uniformizar a secagem dos frutos em razão do excesso de chuvas e/ou da nebulosidade da atmosfera nos meses de novembro e dezembro. Essa secagem foi feita em secadores de circulação forçada, à temperatura de cerca de 45°C, no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas (DEG/UFLA). Após a secagem, procedeu-se à pesagem de frutos em balança de precisão de 0,01 g, em g/parcela, o beneficiamento dos frutos e a determinação peso de mil grãos, peso em hectolitros, teor de água e teor de óleo dos grãos.

O descascamento dos frutos secos foi feito por ordem de racemos na beneficiadora debulhadora de mamona da marca Ecirtec, separando-se, de um lado, os grãos cheios e, de outro, as cascas dos frutos e os grãos chochos (vazios) que, posteriormente, foram separados e contados, conforme ilustrações da Figura 8.

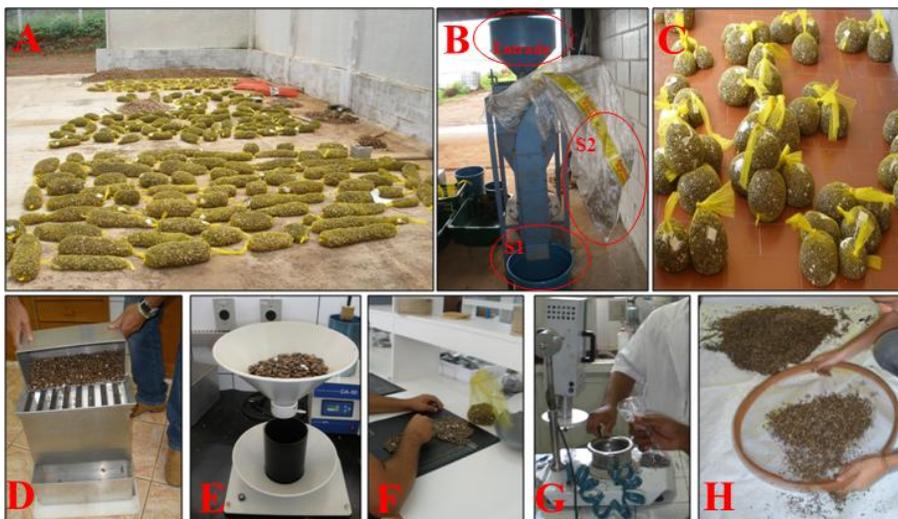


FIGURA 8 Etapas de beneficiamento e análises após a colheita da mamona. Frutos colhidos das parcelas, ensacados e postos pra secar em estufa (A); debulhadora de frutos (B), indicadas a entrada dos frutos e a posterior saída dos grãos cheios (S1) e da palhada dos grãos chochos (S2); grãos cheios beneficiados (C); homogeneizadora dos grãos (D); balança de peso hectolitro (E); bancada de contagem dos grãos (F); moagem dos grãos (G) e processo de separação dos grãos chochos da palhada (H). Lavras, MG, 2011.

As componentes de produção número médio de racemos por unidade de planta e ordem primária (NRP), secundária (NRS), terciária (NRT) e total por planta (NTR), assim como o rendimento médio de frutos por unidade de planta e ordem primária (RFP), secundária (RFS), terciária (RFT) e total de frutos por planta (RTF), foram calculadas dividindo-se seus respectivos números de racemos e pesos de frutos secos por parcela pelo seu número de plantas úteis. As componentes de produção número médio de frutos por unidade de racemo da ordem primária (NFP), secundária (NFS) e terciária (NFT), número médio de grãos chochos por unidade de racemo da ordem primária (NXRP), secundária (NXRS) e terciária (NXRT), assim como a massa média de frutos por unidade de racemo da ordem primária (MFP), secundária (MFS) e terciária (MFT),

foram calculadas dividindo-se seus respectivos números e pesos por parcela pelo número total de racemos das plantas úteis. A porcentagem média de grãos chochos dos racemos por ordem primária (PXP), secundária (PXS), terciária (PXT) e total por planta (PTX) foram calculadas, em porcentagem, dividindo-se seus respectivos números de grãos chochos por parcela pelo seu número total de grãos cheios e chochos das plantas úteis, número obtido pelo triplo do número de frutos secos por parcela, considerando-se constante três grãos por fruto na cultivar IAC 2028, segundo Savy Filho et al. (2007).

As componentes de produção fração média de grãos-frutos dos racemos primários (FgfP), secundários (FgfS) e média (FgfM) foram calculadas, conforme Severino et al. (2005), dividindo-se os respectivos pesos de grãos por parcela pelo peso de frutos secos das plantas úteis. Já o peso médio de mil grãos por ordem primária (PMilGP), secundária (PMilGS) e médio por planta (PMilGM) e o peso hectolitro dos grãos por ordem primária (PHP), secundária (PHS) e médio por planta (PHM) foram determinados conforme Brasil (2009). Ressalta-se que os dados dessas componentes referem-se à umidade de grãos de 10%Ubu e teor de óleo de 43%bu corrigidas, e que não foram calculados para a ordem terciária, por não terem sido suficientes o número e/ou volume colhido por parcela, na maioria dos tratamentos.

As componentes de produção teor de água (TU), segundo Brasil (2009), e teor de óleo dos grãos (TO) foram obtidas de subamostras do total de grãos de todas as ordens colhidas por parcela, com o teor de água (TU) obtido de amostras moídas no Laboratório de Análise de Sementes LAS/DAG/UFLA e o teor de óleo dos grãos corrigido para umidade de 10%Ubu, determinado por extração pelo método Soxhlet, utilizando-se como solvente o hexano, no Laboratório de Pesquisa em Óleos, Gorduras e Biodiesel da UFLA.

### 3.8 Variáveis de produtividade da cultura

A produtividade de grãos (P), em kg ha<sup>-1</sup>, foi obtida para os racemos primários (PRP), secundários (PRS), terciários (PRT), primários e secundários (PRPS) e produtividade total da cultura (PT). Para tanto, consideraram-se o teor médio de óleo dos grãos (TO) de 43% a 10%Ubu e a umidade média dos grãos (TU = Ui) de 5,8%Ubu convertida para a produtividade com 10%Ubu (TU = Uf, teor de água padrão de comercialização), a área útil por planta (Au) e os rendimentos totais de grãos (R) colhidos das quatro plantas úteis por parcela, conforme as Equações 22 e 23.

$$P = fu \cdot \frac{10R}{4Au} \quad (22)$$

$$fu = \frac{100 - Ui}{100 - Uf} \quad (23)$$

em que

P - produtividade de grãos ao teor de óleo de 43% a 10%Ubu, (kg ha<sup>-1</sup>);

fu - fator de conversão da umidade, (adm);

R - rendimentos de grãos por ordem e plantas úteis, (g.parcela<sup>-1</sup>);

Ui - percentual de umidade inicial em base úmida (%Ubu);

Uf - percentual de umidade final em base úmida (%Ubu);

Au - área útil por planta (m<sup>2</sup>.planta<sup>-1</sup>).

### 3.9 Função de produção, análises técnica e econômica

A função de produção utilizada na análise econômica foi o polinômio de segundo grau, obtido do ajuste de regressão dos dados de produtividade (Y) em função do fator de produção (X), conforme Equação 24, sendo Y os dados de produtividade total de todos os racemos primários, secundários e terciários (PT) e X correspondente aos níveis do fator lâmina de água total (A, em mm) na função de produção PT= f(A) ou X correspondente aos níveis do fator época de suspensão da irrigação ao longo do ciclo de cultivo (E, em dias após a semeadura, DAS) na função de produção PT= f(E) desse fator.

$$Y = f(X) = b_0 + b_1X + b_2X^2 \quad (24)$$

em que

Y - produtividade total da cultura estimada (PT), kg ha<sup>-1</sup>;  
 X - fator lâminas (A, mm) ou épocas de suspensão da irrigação (E, dias);  
 b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub> - coeficientes, tendo como hipótese que b<sub>1</sub>>0 e b<sub>2</sub><0.

A máxima eficiência técnica, ou produtividade física f(X<sub>m</sub>), promovida pela aplicação X<sub>m</sub> do fator X (com X<sub>m</sub> correspondente a A<sub>m</sub> ou E<sub>m</sub>, lâmina de água total ou época de suspensão da irrigação) foi obtida pelo produto físico marginal ou derivada primeira da função f(X) igual a zero, com X<sub>m</sub> expresso, em síntese, pela Equação 25.

$$X_m = -\frac{b_1}{2 \cdot b_2} \quad (25)$$

em que

X<sub>m</sub> - nível máximo do fator (A<sub>m</sub> ou E<sub>m</sub>) da produtividade total (PT);  
 b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub> - coeficientes, tendo como hipótese que b<sub>1</sub>>0 e b<sub>2</sub><0.

A máxima eficiência econômica da produção ou produtividade econômica f(X\*), promovida pela aplicação X\* do fator X (X\* correspondente a A\* ou E\*, lâmina de água total ou época de suspensão da irrigação), que traduz o máximo retorno econômico da atividade, foi obtida igualando-se a zero a primeira derivada da função lucro (Equação 26) em relação ao fator X, função esta expressa pela receita bruta (RB=Y\*Py) subtraída do custo total (CT) dado pela soma dos custos com o fator X (X\*Px) e demais custos considerados fixos no experimento (C, *ceteris paribus*), com X\* expresso, em síntese, pela Equação 27.

$$\pi = Py \cdot Y - Px \cdot X - C \quad (26)$$

$$X^* = X_m + \frac{Px}{2 \cdot b_2 \cdot Py} \quad (27)$$

em que

$\pi$  - lucro econômico (R\$);  
 $P_y$  - preço do produto praticado no mercado, R\$ kg<sup>-1</sup>;  
 $Y$  - produtividade total da cultura estimada (PT), kg ha<sup>-1</sup>;  
 $P_x$  - preço ou custo unitário do fator A ( $P_a$ , R\$mm<sup>-1</sup>) ou E ( $P_e$ , R\$dia<sup>-1</sup>);  
 $X$  - fator lâminas (A, mm) ou épocas de suspensão da irrigação (E, dias);  
 $C$  - custos considerados fixos no experimento, ceteris paribus, (R\$ha<sup>-1</sup>);  
 $X^*$  - nível de máxima produtividade econômica (A\* ou E\*, em mm);  
 $X_m$  - nível da máxima produtividade técnica do fator (A<sub>m</sub> ou E<sub>m</sub>);  
 $b_2$  - coeficiente da regressão, tendo como hipótese que  $b_2 < 0$ .

A superfície de resposta  $Y = f(X_1, X_2)$ , ou função de produção, dependente simultaneamente dos dois fatores independentes ou correlacionados  $X_1$  e  $X_2$  (lâmina e época de suspensão da irrigação, respectivamente), utilizada na análise técnica foi o polinômio de segundo grau quadrático (Equação 28), já discutido e recomendado por diversos autores (FRIZZONE, 1986), obtido a partir do ajuste de regressão dos dados de produtividade ( $Y$ ) para a ordem primária ( $Y = PRP$ ), secundária ( $Y = PRS$ ), terciária ( $Y = PRT$ ), primária e secundária ( $Y = PRPS$ ) e total da cultura ( $Y = PT$ ).

$$Y = f(A, E) = b_0 + b_1A + b_2E + b_{11}A^2 + b_{22}E^2 + b_{12}A \cdot E \quad (28)$$

em que,

$Y$  - produtividade por ordem de racemos ou total estimada, kg ha<sup>-1</sup>;  
 $A$  - água de reposição pelas lâminas de irrigação ( $A_i$ , em %);  
 $E$  - época de suspensão da irrigação (dias após a semeadura, DAS);  
 $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}$  e  $b_{12}$  - são os parâmetros de ajuste, tendo como hipótese  $b_1 > 0; b_2 > 0; b_{11} < 0; b_{22} < 0$  e  $b_{12} \neq 0$ .

A solução do sistema de equações formado pelas derivadas primeiras nulas ( $d(PT)/dA$  e  $d(PT)/dE$  iguais a zero), obtido da Equação 28, fornece os valores dos fatores  $A_m$  e  $E_m$ , que podem conduzir, em conjunto, a máxima produção resultante da eficiência técnica. Os dados amostrados no experimento foram submetidos às análises no programa computacional Sisvar, versão 4.6, para análises estatísticas (FERREIRA, 2011).

### 3.9.1 Preço do produto e custo variável unitário por fator de produção

O preço do produto ( $P_y$ ), ou preço mínimo da mamona garantido ao produtor rural no estado de Minas Gerais para o mês de outubro de 2011, foi de R\$ 67,88 por saca de 60 kg ou de R\$ 1,13/kg, conforme dados fornecidos pela Conab e pelo Programa de Garantia de Preços para a Agricultura Familiar (PGPAF).

O preço do fator lâmina total de água ( $P_a$ ) e do fator época de suspensão da irrigação ( $P_e$ ), correspondente ao período de 182 dias de realização da irrigação ao longo do ciclo, foi tomado pelo custo médio unitário do volume de água, em R\$  $\text{mm}^{-1}$ , e o custo médio unitário de cada dia de irrigação da cultura no campo, em R\$  $\text{dia}^{-1}$ . Esses preços foram estimados de forma simples pela razão entre custos totais com energia para o bombeamento ( $CE$ , em R\$), custos de manutenção e operação do sistema de irrigação ( $C_{mo}$ , em R\$) em relação à lâmina total de água ( $P_a$ , R\$  $\text{mm}^{-1}$ ) e o número de dias da cultura irrigada no campo ( $P_e$ , R\$  $\text{dia}^{-1}$ ), inerentes ao tratamento referência (A3E5), conforme Santana et al. (2009) (Equações 29 e 30).

$$P_a = \frac{CE + C_{mo}}{L_{(A3E5)}} \quad (29)$$

$$P_e = \frac{CE + C_{mo}}{DAS_{(A3E5)} - 38} \quad (30)$$

em que

$P_a$  - preço da lâmina de irrigação (R\$  $\text{mm}^{-1}$ );

$P_e$  - preço por cada dia de irrigação da cultura no campo (R\$  $\text{dia}^{-1}$ );

$CE$  - custo com energia elétrica (R\$);

$C_{mo}$  - custo com manutenção e operação do sistema de irrigação (R\$);

$L_{(A3E5)}$  - lâmina total de água do tratamento referência A3E5 (mm);

$DAS_{(A3E5)}$  - dias após a semeadura do tratamento A3E5 (220 dias).

Ressalta-se que, na estimativa desses preços no período, os custos da água e de depreciação do sistema de irrigação não foram considerados e que, levando-se em conta que os custos fixos e variáveis referentes à irrigação variam dependendo de vários fatores, considerou-se um sistema de irrigação por gotejamento com acionamento manual para atender às seguintes características: área de 1 hectare com número de plantas por hectare de 11.111,11; utilização do sistema de irrigação por dois ciclos de cultura por ano; altura manométrica total de 33 m; vazão da unidade de bombeamento de  $12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ; rendimento do conjunto motobomba de 50%; vida útil do sistema de irrigação de 15 anos e valor residual ou final de 20% do valor de aquisição. Nessas condições, o custo do sistema de irrigação (Csi) foi de R\$ 10.956,60, incluídas todas as obras necessárias para o funcionamento e, no cálculo do custo da energia elétrica de bombeamento da água para irrigação do tratamento referência A3E5, foi considerado o valor do kWh utilizado de R\$ 0,23654 (sugerido pela CEMIG para o mês de outubro de 2011), para um conjunto motobomba de 3 cv (o suficiente para irrigar 1 ha de mamona), com 182 dias de cultivo da mamona no campo. O custo total de energia elétrica para o bombeamento foi estimado em R\$ 180,01/ha, conforme Bilibio et al. (2010), utilizando-se a Equação 31.

$$CE = V_{\text{kWh}} \cdot \frac{0,736 \cdot H \cdot 10 \cdot L_{(A3E5)}}{270 \cdot \eta} \quad (31)$$

em que

CE - custo com energia (R\$);

$V_{\text{kWh}}$  - valor do kWh (R\$ 0,23654);

H - altura manométrica (33 mca);

$L_{(A3E5)}$  - lâmina total do tratamento referência A3E5 (423 mm);

$\eta$  - rendimento do conjunto motobomba (0,5 decimal).

O custo de manutenção e operação do sistema de irrigação foi considerado como sendo de 2% sobre o seu valor de aquisição, resultando em R\$ 109,60 (Equação 32), conforme Brasil (1987).

$$C_{mo} = 0,02 \cdot C_{si} \cdot P \quad (32)$$

em que

$C_{mo}$  - custo com manutenção e operação do sistema de irrigação (R\$);

$C_{si}$  - custo de aquisição do sistema de irrigação por gotejo (R\$);

P - período de análise (0,5 anos).

Assim, considerando-se a energia consumida no bombeamento, na manutenção e na operação do sistema de irrigação do tratamento A3E5 por ciclo da cultura, o custo total ( $CE + C_{mo}$ ) foi de R\$289,60/ha e os preços  $P_a$  e  $P_e$  de R\$0,68  $mm^{-1}ha^{-1}$  e R\$1,59  $dia^{-1}ha^{-1}$ .

### 3.9.2 Custos de produção

Neste trabalho foram estimados valores, em reais (R\$), para o cálculo do custo total de produção, considerando-se 1 hectare de área cultivada com mamona no período de uma safra. Incluídos os custos alternativos, esse custo total de produção ( $CT$ , R\$/ha) foi considerado separadamente para o cultivo sem o uso da irrigação (dependente apenas das condições climáticas da região) ou cultivo de sequeiro e para o cultivo irrigado.

Assim, para a composição do custo total do cultivo de sequeiro ( $CT = CT_s$ ) foram considerados os custos fixos ( $CFT_s$ ) e variáveis totais ( $CVT_s$ ), sem os custos com irrigação, e, para a composição do custo total ( $CT$ , R\$/ha) de produção do cultivo irrigado, foram incluídos aos respectivos custos de sequeiro ( $CFT_s$  e  $CVT_s$ ) os custos fixos ( $CFT_i$ ) e variáveis totais ( $CVF_i$ ) com o uso da irrigação considerada, conforme Equações 33, 34 e 35.

$$CT = CFT + CVT \quad (33)$$

$$CFT = CFT_s + CFT_i \quad (34)$$

$$CVT = CVTs + CVTi \quad (35)$$

em que

CT - custo total de produção irrigada ou de sequeiro (CTs), R\$ ha<sup>-1</sup>;

CFT - custo fixo total de produção, R\$ ha<sup>-1</sup>;

CVT - custo variável total de produção, R\$ ha<sup>-1</sup>;

CFTs - custo fixo total da cultura de sequeiro, R\$ ha<sup>-1</sup>;

CVTs - custo variável total da cultura de sequeiro, R\$ ha<sup>-1</sup>;

CFTi - custo fixo total do uso da irrigação, R\$ ha<sup>-1</sup>;

CVTi - custo variável total do uso da irrigação, R\$ ha<sup>-1</sup>;

Os custos fixos totais da cultura de sequeiro (CFTs) corresponderam a Imposto Territorial Rural (ITR), depreciação e custo alternativo dos recursos empregados, sendo a depreciação estimada pelo método linear e o custo alternativo admitindo uma taxa mínima de retorno de 8% a.a. Especificamente para o recurso terra, o custo alternativo foi calculado considerando-se o valor de arrendamento correspondente a 20% do valor da produção. Os demais custos fixos indiretos (com exceção da terra) relativos aos recursos utilizados na propriedade, a maioria pequenas propriedades onde a mão de obra é predominantemente familiar e, em média, esses recursos também são empregados em três outras culturas ao ano, foram rateados e distribuídos entre elas, sendo atribuído à mamona um terço desses custos. Para o custo variável total de sequeiro (CVTs), foram considerados os custos com insumos (sementes, inseticida, herbicida e adubo) e serviços (remuneração da mão de obra com preparo de área, semeadura e adubação, aplicação de herbicida, aplicação de inseticida, capina, colheita, beneficiamento e sacaria), além do custo de oportunidade, admitindo-se taxa mínima de 8% a.a. Adicionalmente, visando cobrir inexatidões, falhas de informação e circunstâncias imprevisíveis, foi incluído na estrutura dos custos fixos (CFTs) e variáveis (CVTs) o item “Diversos”, que constituiu 2% sobre o somatório do custo fixo parcial e do custo variável parcial. Assim, conforme Silva et al. (2009), considerando uma

produtividade média da cultura de sequeiro no patamar de 1.481 kg/ha e os valores atualizados para o período produtivo de 2011 pelo Índice Geral de Preços (IGP-DI), o custo total (CTs) por hectare foi de R\$1.171,18. Desse total, R\$253,72 foram referentes aos custos fixos totais (CFTs) e R\$917,46, aos custos variáveis totais (CVTs).

Os custos do recurso irrigação integraram o custo variável total da irrigação (CVTi) e o custo fixo total (CFTi), este composto pela depreciação (Di) e o custo fixo alternativo do sistema de irrigação [CAfixo(i)] e aquele composto pelo custo variável com lâmina de irrigação aplicada (Px\*Xi) e seu custo variável alternativo [CAvar(i)], analisados tanto pelos níveis do fator de tratamento lâminas total de água (Pa\*Ai) como pelos níveis do fator épocas de suspensão da irrigação (Pe\*Ei), conforme as Equações 36 e 37.

$$CFTi = CAfixo(i) + Di \quad (36)$$

$$CVTi = CAvar(i) + Px \cdot Xi \quad (37)$$

em que

CFTi - custo fixo total do recurso água de irrigação, R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 CAfixo(i) - custo alternativo fixo do sistema de irrigação R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 D(i) - custo de depreciação do sistema de irrigação, R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 CVTi - custo variável total do recurso água de irrigação, R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 CAvar(i) - custo alternativo variável da irrigação, R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 Px - preço ou custo unitário do fator A (Pa, R\$ mm<sup>-1</sup>) ou E (Pe, R\$ dia<sup>-1</sup>);  
 Xi - nível de lâmina (Ai, mm) ou épocas de suspensão (Ei, dias).

O custo fixo total da água de irrigação (CFTi) foi obtido pelo custo de depreciação do sistema de irrigação (Di) necessário para a recuperação do capital e a substituição dos bens de capital, quando tornados inúteis (seja pelo desgaste físico ou econômico) e pelo custo alternativo [CAfixo(i)]. No cálculo da depreciação, o método utilizado foi o linear, considerando-se o prazo de 182 dias (220 - 38) ou o período de análise de 0,50 anos (P), referente ao período de

cultivo da cultura neste estudo. No cálculo do custo fixo alternativo, considerou-se a taxa de juros real de 8% a.a, conforme as Equações 38 e 39.

$$D_i = \left( \frac{V_a - V_r}{V_u} \right) \cdot P \quad (38)$$

$$CA_{\text{fixo}}(i) = \left( \frac{V_u - I}{V_u} \right) \cdot V_a \cdot T_j \cdot P \quad (39)$$

em que

$D_i$  - depreciação do sistema de irrigação, R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 $V_a$  - valor atual de aquisição do sistema de irrigação (Csi), R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 $V_r$  - valor residual ou final de revenda, considerado 20% do  $V_a$ , R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 $V_u$  - vida útil ou período de utilização de um bem da atividade (15 anos);  
 $P$  - período de análise (0,5 anos).  
 $CA_{\text{fixo}}(i)$  - custo alternativo fixo da irrigação, R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 $I$  - idade média de uso do bem, considerada de 50% da  $V_u$  (anos);  
 $T_j$  - taxa de juros (8% a.a, decimal).

Para o cálculo do custo alternativo variável [ $CA_{\text{var}}(i)$ ] com as lâminas totais de água ( $A_i$ ) ou com as épocas de suspensão ( $E_i$ ), foi considerada a taxa de juros real de 8% a.a., conforme Equações 40 e 41.

$$CA_{\text{var}}(i) = \frac{V_{\text{gasto}}(i)}{2} \cdot T_j \cdot P \quad (40)$$

$$V_{\text{gasto}}(i) = P_x \cdot X_i \quad (41)$$

em que

$CA_{\text{var}}(i)$  - custo alternativo variável da irrigação das lâminas, R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 $T_j$  - taxa de juros (decimal);  
 $P$  - período de análise (0,5 anos);  
 $V_{\text{gasto}}(i)$  - valor gasto com as lâminas  $A_i$  ou épocas  $E_i$ , R\$ ha<sup>-1</sup>;  
 $P_x$  - preço ou custo unitário do fator A ( $P_a$ , R\$ mm<sup>-1</sup>) ou E ( $P_e$ , R\$ dia<sup>-1</sup>);  
 $X_i$  - nível do fator lâmina ( $A_i$ , mm) ou épocas de suspensão ( $E_i$ , dias).

A análise da viabilidade econômica da irrigação para o cultivo da mamona foi realizada com base nos benefícios de sua adoção, investimentos e custos de sua implementação, utilizando-se como indicadores: a) o lucro

econômico ( $\pi$ , R\$/ha) obtido subtraindo-se da receita bruta (RB, R\$/ha) o custo total (CT, R\$/ha); b) os custos fixo médio (CFMe), variável médio (CVMe) e total médio (CTMe), que foram comparados ao preço do produto (Py), obtidos, respectivamente, da divisão dos custos fixo total (CFT), variável total (CVT) e custo total (CT) pela quantidade ( $q = Y$ ) produzida ( $CFMe = CFT/q$ ;  $CVMe = CVT/q$  e  $CTMe = CT/q$  ou  $CTMe = CFMe + CVMe$ ) e c) o indicador de rentabilidade da relação benefício/custo (B/C) obtido da divisão da receita bruta (RB, R\$/ha) pelo custo total (CT, R\$/ha), ou seja,  $B/C = RB/CT$ . Ressalta-se que, nos cálculos desses índices, especificamente para o cultivo de sequeiro, os respectivos custos fixos (CFTs), variáveis (CVTs) e totais (CTs) foram os obtidos para esse tipo de cultivo correspondente às mesmas condições de cultivo do tratamento A0E0, não se diferenciado dos demais pela irrigação, portanto, com nível zero dos fatores A e E, isto é,  $A0 = 0$  e  $E0 = 0$ , e a produtividade total obtida pela média das três parcelas cultivadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse tópico, longe de esgotar o assunto, são abordados os itens relacionados a esse estudo por meio de figuras e tabelas com informações adicionais anexas.

### 4.1 Condições meteorológicas e de controle dos tratamentos

Algumas das variáveis meteorológicas e de controle da irrigação, ao longo das épocas de suspensão da irrigação no período de cultivo, estão sumarizadas na Tabela 1A (anexo). As temperaturas (T) e as umidades relativas (UR) médias, durante os estádios E<sub>0</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub>, foram de 17,8 °C, 16,4 °C, 18,2 °C, 19,7 °C, 20,3 °C e 21,6 °C e de 72%, 72%, 63%, 54%, 56% e 65%, respectivamente, observando-se as menores UR nos meses de agosto e setembro (E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub>) associadas às menores nebulosidades atmosféricas ocorridas com razões de insolação média (n/N) de 68%, 69%, 76%, 83%, 65% e 56%, respectivamente. Como resultado direto da integração dessas variáveis do plantio aos 38 dias após a semeadura (DAS) à ocorrência dos estádios E<sub>0</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub> (Tabela 1A), considerando-se E<sub>0</sub> aos 103 DAS e os demais, respectivamente, aos 120, 149, 177, 196 e 220 DAS, observou-se que a demanda atmosférica representada pela evapotranspiração de referência, E<sub>To</sub>, de 163,6 mm, 36,2 mm, 82,7 mm, 106,5 mm, 80,5 mm e 97,5 mm (566,9 mm) foram superiores à disponibilidade hídrica do solo suprida pela precipitação efetiva (P<sub>e</sub>) de 45,5 mm, 1,0 mm, 8,5 mm, 0,2 mm, 0,4 mm, e 28,7 mm (84,2 mm) e, pela irrigação (LBI), de 120 mm, 30 mm, 61,7 mm, 61,6 mm, 43,8 mm e 21,9 mm (338,9 mm), exceto até os 103 DAS (E<sub>0</sub>), respectivamente. Cabe destacar que a precipitação total (P) no ciclo foi de 198,2 mm, concentrando-se quase que integralmente no estágio inicial E<sub>0</sub> (69,8 mm) e final do ciclo da cultura após E<sub>4</sub>

(115,4 mm), o que concorreu para a redução da interferência das chuvas nas respostas dos tratamentos irrigados (Tabela 1A).

Dessa forma, considerando-se os intervalos (66, 17, 29, 28, 19 e 24 dias) entre os estádios consecutivos E<sub>0</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub>, as E<sub>T0</sub> média diária foram de 2,5 mmd<sup>-1</sup>, 2,1 mmd<sup>-1</sup>, 2,9 mmd<sup>-1</sup>, 3,8 mmd<sup>-1</sup>, 4,2 mmd<sup>-1</sup> e 4,1 mmd<sup>-1</sup> e as demandas médias da cultura, estimadas pela evapotranspiração da cultura (E<sub>Tc</sub>), foram de 1,1 mmd<sup>-1</sup>, 1,9 mmd<sup>-1</sup>, 2,5 mmd<sup>-1</sup>, 3,3 mmd<sup>-1</sup>, 3,4 mmd<sup>-1</sup> e 2,7 mmd<sup>-1</sup> e real da cultura (E<sub>Tr</sub>) de 1,1 mmd<sup>-1</sup>, 1,7 mmd<sup>-1</sup>, 2,2; mmd<sup>-1</sup>, 2,9; mmd<sup>-1</sup>, 3,0; mmd<sup>-1</sup> e 2,5 mmd<sup>-1</sup>, respectivamente. Essas demandas aumentaram com o desenvolvimento, atingindo valores máximos entre os estádios E<sub>2</sub> e E<sub>4</sub>, seguidos de redução ao final do ciclo no estádio E<sub>5</sub>, sendo observados os valores de E<sub>Tc</sub> ligeiramente subestimados pelos valores de E<sub>Tr</sub>. Com esses valores de E<sub>Tc</sub> e E<sub>Tr</sub> associados às respectivas E<sub>T0</sub> durante os estádios E<sub>0</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub>, os coeficientes de cultura médio (K<sub>c</sub>) relativos a E<sub>Tc</sub> foram de 0,45; 0,87; 0,87; 0,87; 0,80 e 0,66 e relativos a E<sub>Tr</sub>, de 0,43; 0,79; 0,78; 0,77; 0,71 e 0,62, ligeiramente subestimados em relação aos anteriores em 4%, 9%, 10%, 11%, 11% e 6%, respectivamente.

O manejo da irrigação foi realizado durante o ciclo com 36 irrigações (NI) a um turno de rega médio (TR) de cinco dias, observada a maior frequência de 10 irrigações (NI) na fase inicial (E<sub>0</sub>), reduzida para 2 irrigações no estádio final do ciclo (E<sub>5</sub>), quando ocorreu o reinício das chuvas. Nos intervalos entre os estádios E<sub>0</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub> os turnos de rega foram de 6, 3, 4, 5, 5 e 8 dias às lâminas médias de irrigação de 12,9 mm, 6,0 mm, 7,7 mm, 10,2 mm, 10,9 mm e 10,9 mm, respectivamente.

Na Figura 9 observa-se, ao longo do ciclo, a variação diária das variáveis meteorológicas de precipitação (P), radiação solar incidente (R<sub>s</sub>), razão de insolação (n/N), umidade relativa média (UR), precipitação (P), temperaturas

máxima ( $T_{máx}$ ), média ( $T_{méd}$ ) e mínima ( $T_{mín}$ ), e as temperaturas críticas basal ( $T_b$  de 10 °C) e superior ( $T_s$  de 30 °C) para a cultura, conforme Cargnelutti Filho et al. (2010). Com relação a essas temperaturas críticas, observou-se que as mínimas ocorreram, com maior frequência, próximas ou inferiores à  $T_b$  entre 65 e 125 DAS (maio a julho, Eo e E1), com alguns picos inferiores (aos 84, 107, 118, 145 e 178 DAS) e que as temperaturas máximas tiveram maior frequência próxima à  $T_s$  entre 140 e 210 DAS (agosto a setembro, E2, E3 e E4), com alguns picos superiores (146, 153, 170, 171 a 181 e de 197 a 204 DAS).

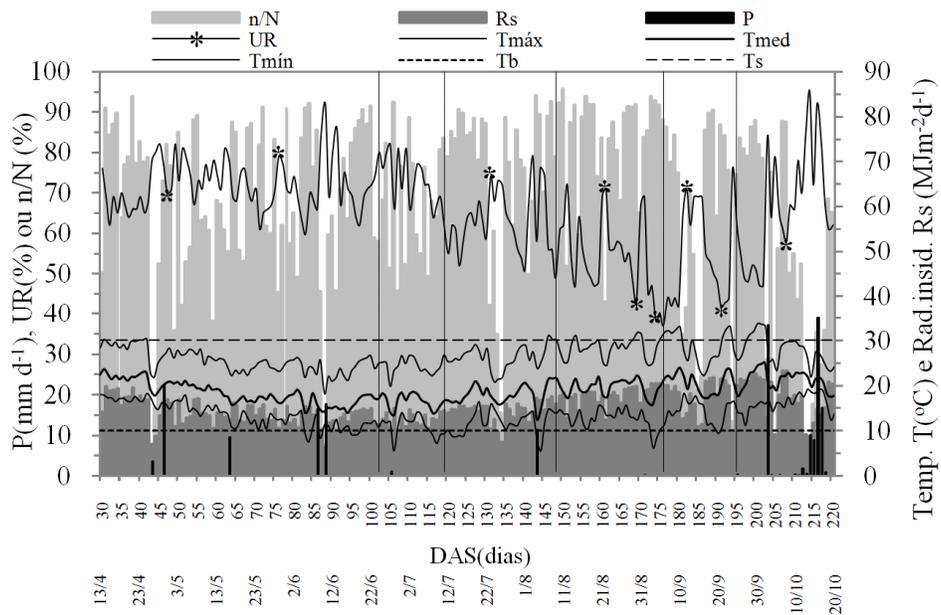


FIGURA 9 Precipitação (P), radiação solar incidente (Rs), razão de insolação (n/N), umidade relativa média (UR), temperaturas máxima ( $T_{máx}$ ), média ( $T_{méd}$ ) e mínima ( $T_{mín}$ ), e temperaturas críticas para a cultura ( $T_b$  e  $T_s$ ), ao longo dos ciclo, em dias após a semeadura (DAS) e dias do ano Lavras, MG, 2011.

Os gráficos de umidade do solo a 0,30 m de profundidade ao longo do ciclo (DAS), medida nos tratamentos de lâminas A1, A3 e A5, para as

respectivas épocas de suspensão da irrigação, E1, E3 e E5, umidade crítica do momento de irrigar ( $U^*$ ) e na capacidade de campo (CC), precipitação (P) e irrigações diárias dos tratamentos A3E5, se encontram nas Figuras 10, 11 e 12. O nível A3 de referência foi adotado no manejo de irrigação estabelecido para a manutenção da umidade do solo próxima da capacidade de campo (CC) de 40%, a 6 kPa ( $\approx 0,06$  atm) e profundidade de 0,30 m, sempre que fosse reduzida desse valor (CC) para a umidade crítica ( $U^{*''}$ ) de 27%, a 26 kPa ( $\approx 0,26$  atm). Ambas foram superiores à umidade no ponto de murcha permanente (Pmp) de 19%, a 1.500 kPa ( $\approx 15$  atm).

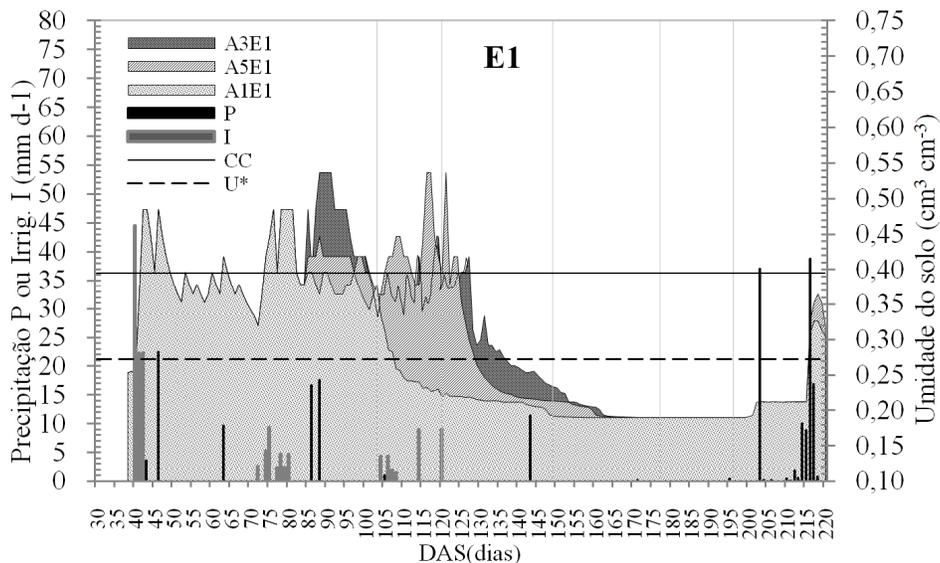


FIGURA 10 Umidade média do solo, medida à profundidade de 0,30 m, nos tratamentos A1E1, A3E1, A5E1 (E1), umidade crítica ( $U^*$ ) e na capacidade de campo (CC); precipitação (P) e irrigações diárias do tratamento A3E5 (I) ao longo do ciclo da cultura, em dias após a semeadura (DAS) Lavras, MG, 2011.

Esse nível de referência (A3) correspondeu à fração de esgotamento de água no solo ( $f^*$ ), obtida pela razão entre a disponibilidade real (DRA) e a total

de água no solo (DTA), ambas definidas como intervalos de armazenamento entre as umidades críticas do solo e a capacidade de campo (CC-U<sup>\*</sup>) e entre esta e o ponto de murcha permanente (CC-Pmp), respectivamente. Desse modo, para o cálculo da lâmina bruta de irrigação (LBI) aplicada no tratamento A3, além da umidade crítica U<sup>\*</sup>, foi adotada também a profundidade efetiva do sistema radicular de 0,40 m (Z) e a fração de área molhada de 22% (fw), entre outras características do solo (razão de lixiviação, RL) e do sistema de irrigação (como a eficiência de distribuição e aplicação), com base na literatura já citada.

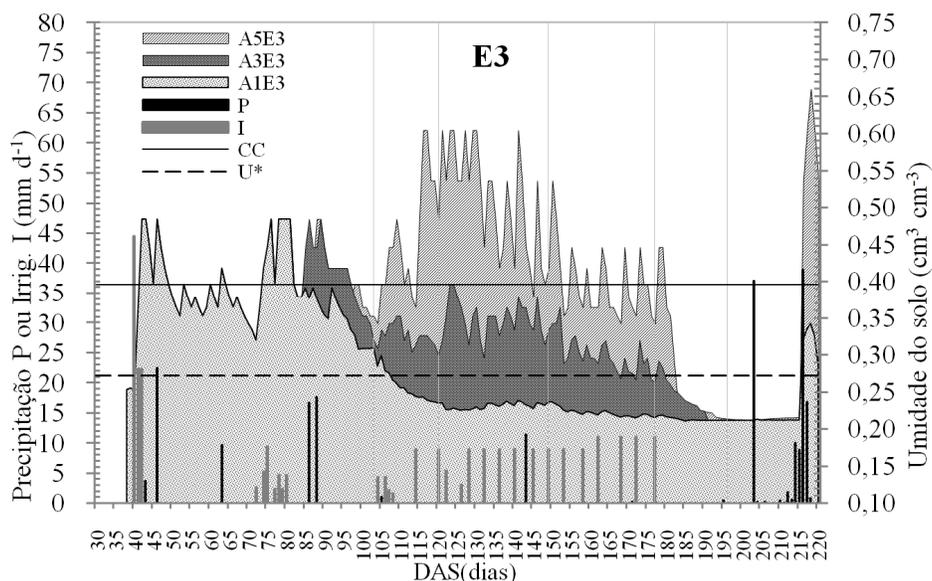


FIGURA 11 Umidade média do solo, medida à profundidade de 0,30 m, nos tratamentos A1E3, A3E3, A5E3 (E3), umidade crítica (U<sup>\*</sup>) e na capacidade de campo (CC); precipitação (P) e irrigações diárias do tratamento A3E5 (I) ao longo do ciclo da cultura, em dias após a semeadura (DAS). Lavras, MG, 2011.

Com isso, os níveis de lâmina de água de A1, A2, A3, A4 e A5 foram determinados com base nas respectivas frações de 40%, 70%, 100%, 130% e

160% da LBI do tratamento estabelecido como referência (A3 = 100% LBI). Cabe ressaltar que, entre outros parâmetros adotados, a umidade crítica  $U^{*}$  de referência foi estimada a partir da fração de esgotamento de água do solo  $f^*$  (fração de depleção ou disponibilidade) de 0,60 ( $\approx 0,62$ ), estimada com base em características de solo, de clima e da cultura, segundo dados e recomendações generalizadas para grupos de culturas (RIOS, 2009; ALLEN et al.; 1998; SILVA et al., 1998; DOORENBOS; KASSAN 1979).

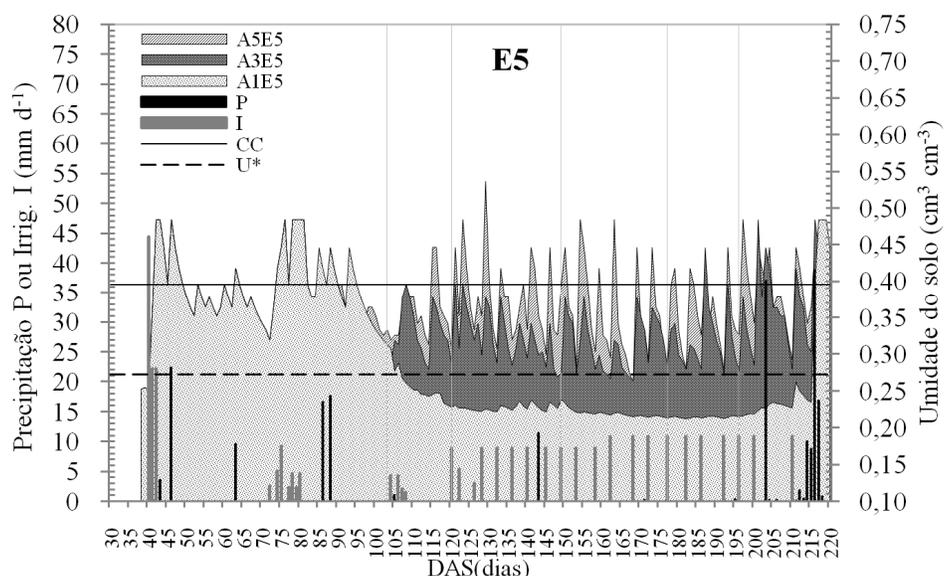


FIGURA 12 Umidade média do solo, medida à profundidade de 0,30 m, nos tratamentos A1E5, A3E5, A5E5 (E5), umidade crítica ( $U^*$ ) e na capacidade de campo (CC); precipitação (P) e irrigações diárias do tratamento A3E5 (I), ao longo do ciclo da cultura, em dias após a semeadura (DAS). Lavras, MG, 2011.

A fração de esgotamento ( $f$ ), quando resultante de pesquisa local e/ou regional para uma cultura, revela o nível de tolerância à restrição (déficit) hídrica e/ou a capacidade evapotranspirométrica e produtiva da cultura, mediante uma razão adimensional simples entre 0 e 1, facilmente convertida em

umidade e/ou tensão (energia) de água no solo. Essa fração (f) corresponde, por definição, à porção máxima da água facilmente disponível (DRA) em relação à disponibilidade total de água no solo (DTA) que a cultura pode utilizar, sem que a evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) chegue a ser inferior à evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>c</sub>) e, por conseqüência (ET<sub>r</sub> < ET<sub>c</sub>), cause redução da produtividade potencial (PT < PP).

Nos cultivos irrigados sob lâmina de referência (A3=LBI) planejada para a manutenção da fração de esgotamento (f\*) inferior a 0,6 da DTA, durante todo o ciclo (A3E5, Figura 12), inclusive na fase inicial (E0), ou até as respectivas épocas de suspensão da irrigação após os estádios E1 e E3 (A3E1 e A3E3) (Figuras 10 e 11), observou-se que a umidade média do solo a 0,30 m de profundidade manteve-se próxima da capacidade de campo (CC) e acima da umidade crítica estabelecida (U\*<sup>cc</sup>). Em média, para a aplicação de A3 nos cultivos irrigados a partir do estabelecimento da cultura (E0) até o final do ciclo de cultivo (A3E5, Figura 12), até a maturação primária (A3E3, Figura 11) e até a antese primária (A3E1, Figura 10) foram observadas as umidade mínima e média crítica (U\*) de 26% e 29%. Essas umidades corresponderam às tensões críticas de 33 e 19 kPa e frações (f) de 0,66 e 0,52, respectivamente. Contudo, como, em um manejo de irrigação, o que caracteriza a fração (f) e/ou a umidade crítica (U\*) de esgotamento (a ser corroborada pela produtividade máxima e/ou ET<sub>c</sub> entre os tratamentos) é a média dos valores mínimos atingidos imediatamente antes das irrigações durante o ciclo, assim, é razoável considerar que a fração de esgotamento (f) no tratamento referência (A3) foi de 0,52.

De modo semelhante, nos cultivos irrigados com a máxima lâmina relativa de 160% de A3 (A5), durante todo o ciclo (A5E5, Figura 12) ou até as respectivas restrições hídricas após as épocas de suspensão da irrigação (A5E1 e A5E3, Figuras 10 e 11), a umidade média manteve-se elevada, acima de 33%, a

11 kPa ou  $f$  de 0,33, com maior frequência de picos tendendo à umidade de saturação ( $U_s \approx 66\%$ ). Por outro lado, à lâmina mínima A1 aplicada nos cultivos A1E1, A1E3 e A1E5 (Figuras 10, 11 e 12) a umidade mínima observada foi de 21%, a 201 kPa, com  $f$  de 0,9. Contudo, a umidade média mínima observada imediatamente antes das irrigações foi de 23%, a 76 kPa, com  $f$  de 0,81. Portanto, para os cultivos irrigados sob a lâmina mínima (A1), média (A3) e máxima (A5) de 40%, 100% e 160% A3, as umidades médias mínimas ( $U^*$ ) observadas imediatamente antes das irrigações foram de 23%, 29% e 33%, às tensões de 76, 19 e 11 kPa e frações de esgotamento ( $f$ ) de cerca de 0,81; 0,52 e 0,33, respectivamente. Considerando razoável que as lâminas intermediárias (A2 e A4) e médias, entre 40% (A1) e 100% (A3) e entre esta última e 160% (A5), sejam proporcionais às umidades mínimas atingidas imediatamente antes das respectivas irrigações, para as lâminas de irrigação A1, A2, A3, A4 e A5, as umidades críticas ( $U^*$ ) foram de, aproximadamente, 23%, 26%, 29%, 31% e 32% (às tensões de 76, 33, 19, 14 e 11kPa), correspondentes às frações de esgotamento ( $f$ ) de 0,81; 0,67; 0,52; 0,43 e 0,33; respectivamente. Esses valores médios estimados de frações de esgotamento de água no solo estão dentro da faixa de 0,2 a 0,8, utilizada para a maioria das culturas, particularmente entre 0,4 e 0,8, para as culturas do grupo graníferas e/ou oleaginosas, sendo grosseiramente o valor médio de 0,5 utilizado para muitas culturas (ALLEN et al., 1998; BERNARDO et al., 2005; DOORENBOS; KASSAN, 1979).

Adicionalmente, sob restrição hídrica após o estágio de antese primária (E1), nos cultivos irrigados A1E1, A3E1 e A5E1 (Figura 10), observou-se uma redução acentuada e defasada de umidade, atingindo a umidade crítica do solo ( $U^*$ ), logo aos 108, 138 e 130 DAS. Para A1, A3 e A5 suspensas no estágio seguinte E2 aos 149 DAS (A1E2, A3E2 e A5E2), as umidades críticas foram de 19%, 24% e 21% ( $f = 1$ ;  $f \approx 0,76$  e  $f \approx 0,9$ ), respectivamente, atingindo o ponto

de murcha permanente de 19% ( $f = 1$ ) aos 149, 161 e 162 DAS, respectivamente, e assim permanecendo praticamente por todo o ciclo, até voltar a elevar-se, com o reinício das chuvas, ao final do ciclo (220 DAS). Cabe destacar, entre estes, o cultivo sob a lâmina média de referência A3E1, que teve redução de umidade do solo mais lenta e adiada do que no cultivo sob a lâmina máxima A5E1, apesar de ambos terem irrigação suspensa no mesmo dia e A5E1 ter recebido lâmina “excessiva” 60% maior que a lâmina de referência A3E1 (Figura 10). Isso, possivelmente, está ligado à maior eficiência de uso da água (EUA de A3E1 estimada de 8,65 contra 6,67  $\text{kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$  de grãos de A5E1) e/ou demanda evapotranspirométrica (ver seções seguintes). Relacionado a isso, Sousa et al. (2008) observaram que essa eficiência decresceu com o incremento na lâmina aplicada, tendo o maior valor, de 0,72  $\text{kg m}^{-3}$ , sido alcançado com o regime de 60% da ETc.

Destaca-se também, sob lâmina mínima de irrigação, o cultivo A1E1, com grande redução da umidade do solo que, tão logo se iniciou esse tratamento, já atingia 5, 16 e 45 dias depois as umidades de 27% ( $U^*$ ), 24% ( $f \approx 0,76$ ) e o ponto de murcha permanente de 19% ( $f = 1$ ), respectivamente.

Nos cultivos A1E3, A3E3 e A5E3 (Figura 11), à semelhança da restrição no estágio E1 (Figura 10), observou-se redução acentuada e defasada de umidade, ambas atingindo a umidade crítica ( $U^*$ ) aos 108, 180 e 182 DAS e, no estágio de maturação secundária, aos 196 DAS (E4), umidade mínima de 21% ( $f \approx 0,9$ ), próxima do ponto de murcha permanente, e assim permanecendo praticamente até o final do ciclo, com o reinício das chuvas. Portanto, em todos os tratamentos de épocas de suspensão da irrigação, em decorrência de poucas chuvas nos respectivos períodos e da interrupção da irrigação mantida até o final do ciclo de cultivo, observou-se que a umidade do solo na camada de 0 a 0,40 m atingiu valores próximos do ponto de murcha permanente.

Na Figura 13 são observadas as lâminas totais de água (A0, A1, A2, A3, A4 e A5) disponibilizadas para a cultura da mamona pelas chuvas e irrigações acumuladas. Para o cultivo de sequeiro (A0, testemunha), a lâmina de água total disponibilizada foi de 173 mm, dos quais 77% foram fornecidos na etapa de estabelecimento da cultura até os 100 DAS (E0), sendo 89 mm referentes às três primeiras irrigações de plantio; 45 mm, às precipitações efetivas de estabelecimento (Pe.inic) e 39 mm, às precipitações efetivas da etapa de diferenciação dos tratamentos (Pe.Trat), dos quais 29 mm concentraram-se após os 203 DAS (Tabela 1A e Figura 13).

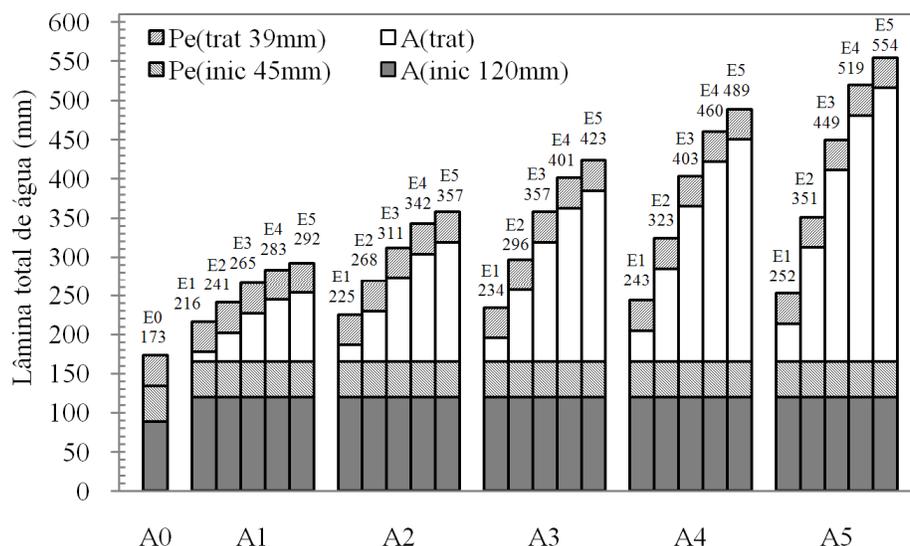


FIGURA 13 Lâminas totais de água acumulada ao longo do ciclo (A0, A1, A2, A3, A4 e A5), fornecidas pela precipitação efetiva (Pe) e/ou irrigação na etapa inicial da cultura (inic), etapa de diferenciação dos tratamentos (trat) à testemunha (A0E0) e à combinação dos 25 tratamentos fatoriais (A1E1, A1E2,... A5E5). Lavras, MG, 2011.

Nos cultivos irrigados com diferenciação das lâminas (A1, A2, A3, A4 e A5) e épocas de suspensão da irrigação (E1, E2, E3, E4 e E5), as lâminas totais

resultantes das 25 combinações foram obtidas adicionando-se às lâminas acumuladas de diferenciação dos tratamentos 204 mm, dos quais 84 mm referiram-se às precipitações (Pe.inic + Pe.Trat) e 120 mm à irrigação inicial de estabelecimento até os 104 DAS. Assim, para as respectivas épocas de suspensão E1, E2, E3, E4 e E5, sob o nível de irrigação A1, foram contabilizadas as lâminas totais de água de 216 mm, 241 mm, 265 mm, 283 mm e 292 mm; sob o nível A2, 225mm, 268 mm, 311 mm, 342mm e 357 mm; sob o nível A3, 234 mm, 296 mm, 357 mm, 401 mm e 423 mm; sob o nível A4, 243 mm, 323 mm, 403 mm, 460 mm e 489 mm e, sob o nível A5, 252 mm, 351 mm, 449 mm, 519 mm e 554 mm, respectivamente (Figura 13).

Observou-se (Figura 13) que a demanda hídrica e/ou evapotranspirométrica da cultura variou com o desenvolvimento e os estádios fenológicos por um lado, em resposta às lâminas totais de água disponibilizadas A0, A1, A2, A3, A4 e A5 e/ou, por outro, em resposta às épocas de suspensão da irrigação E0, E1, E2, E3, E4 e E5, com a demanda aumentando a taxas médias crescentes com as maiores lâminas totais dentro de cada época de suspensão e aumentando a taxas decrescentes, com a maior disponibilidade hídrica ao longo dos estádios de suspensão da irrigação de cada nível de lâmina de reposição. A partir do início da diferenciação das lâminas, aos 104 DAS, essas taxas médias para os intervalos (17, 29, 28, 19 e 24 dias) consecutivos entre as épocas E1, E2, E3, E4 e E5 manejadas com irrigação A1 foram de  $0,71 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $0,86 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $0,86 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $0,95 \text{ mmd}^{-1}$  e  $0,38 \text{ mmd}^{-1}$ ; manejadas com A2 foram de  $1,24 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $1,48 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $1,54 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $1,63 \text{ mmd}^{-1}$  e  $0,63 \text{ mmd}^{-1}$ ; manejadas com A3 foram de  $1,76 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $2,14 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $2,18 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $2,32 \text{ mmd}^{-1}$  e  $0,92 \text{ mmd}^{-1}$ ; manejadas com A4 foram de  $2,29 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $2,76 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $2,86 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $3,00 \text{ mmd}^{-1}$  e  $1,21 \text{ mmd}^{-1}$ , e manejadas com A5 foram de  $2,82 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $3,41 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $3,50 \text{ mmd}^{-1}$ ,  $3,68 \text{ mmd}^{-1}$  e  $1,46 \text{ mmd}^{-1}$ , respectivamente. Cabe destacar que, em todas essas épocas, para

cada lâmina de irrigação (E:A1, E:A2, E:A3, E:A4 e E:A5), as taxas evoluíram com os estádios, atingindo valores máximos (0,95  $\text{mmd}^{-1}$ , 1,63  $\text{mmd}^{-1}$ , 2,32  $\text{mmd}^{-1}$ , 3,00  $\text{mmd}^{-1}$  e 3,68  $\text{mmd}^{-1}$ ) com a suspensão da irrigação entre E3 e E4, com maiores valores em E4 associado às maiores lâminas A4 e A5 (A4E4 e A5E4, 3,00 e 3,68  $\text{mmd}^{-1}$ ). Por sua vez, em todas as lâminas, para cada época de suspensão da irrigação (A:E1, A:E2, A:E3, A:E4 e A:E5), as taxas evoluíram linearmente com o aumento das lâminas, destacando-se as maiores taxas ocorridas com aplicação da lâmina máxima (A5) nos respectivos estádios (2,82  $\text{mmd}^{-1}$ , 3,41  $\text{mmd}^{-1}$ , 3,50  $\text{mmd}^{-1}$ , 3,68  $\text{mmd}^{-1}$  e 1,46  $\text{mmd}^{-1}$ ).

Vale observar também que, corroborando resultados encontrados por Rios et al. (2011a) e Allen et al. (1998), essas taxas sob as lâminas totais A3 e A4, nos respectivos estádios A3E1, A3E2, A4E3, A4E4 e A4E5 (1,76  $\text{mmd}^{-1}$ , 2,14  $\text{mmd}^{-1}$ , 2,86  $\text{mmd}^{-1}$ , 3,00  $\text{mmd}^{-1}$  e 1,21  $\text{mmd}^{-1}$ ), foram próximas das obtidas com ETr no tratamento referência (Tabela 1A), nos respectivos estádios (1,7  $\text{mmd}^{-1}$ , 2,2  $\text{mmd}^{-1}$ , 2,9  $\text{mmd}^{-1}$ , 3,0  $\text{mmd}^{-1}$  e 2,5  $\text{mmd}^{-1}$ ), exceto no estádio E5.

Nas Figuras 14, 15 e 16 observa-se, para as respectivas épocas de suspensão da irrigação E1, E3 e E5, a evapotranspiração real da cultura (ETr) acumulada em resposta às lâminas totais exclusivas dos tratamentos A1, A3 e A5, além da evapotranspiração de referência (ETo), da cultura (ETc), precipitação efetiva (Pe) e as lâminas diárias de precipitação pluvial (P, em  $\text{mmd}^{-1}$ ). Na Figura 14, referente à suspensão da irrigação na antese primária (E1), são plotadas as lâminas brutas de irrigação totais (LBI) A1, A3 e A5 associadas a essa suspensão por A1E1, A3E1, A5E1 e, estas, por sua vez, associadas à evapotranspiração real da cultura ETr11, ETr31 e ETr51, segundo os indicadores numéricos. O mesmo é válido para a suspensão da irrigação na maturação primária (E3) com lâminas totais da irrigação A1E3, A3E3 e A5E3, associadas às evapotranspirações reais ETr13, ETr33 e ETr53 (Figura 15) e,

referente à suspensão terciária ao final do ciclo (E5), as lâminas A1E5, A3E5 e A5E5 associadas às evapotranspirações reais correspondentes ETr15, ETr35 e ETr55 (Figura 16).

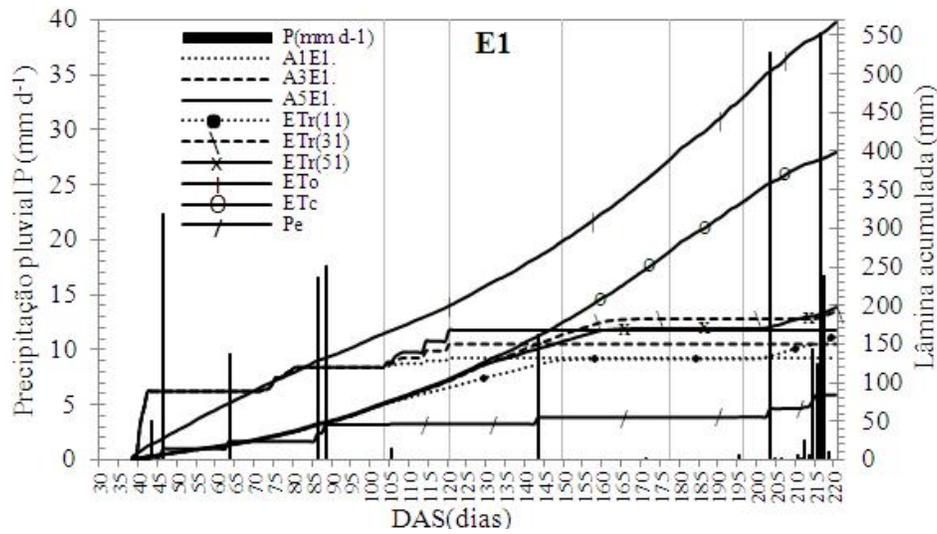


FIGURA 14 Lâminas acumuladas (mm) de evapotranspiração real da cultura, ETr(11), ETr(31) e ETr(51), em resposta às respectivas lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos A1E1, A3E1 e A5E1, com suspensão da irrigação na época E1; precipitação efetiva (Pe), precipitação diária (P), evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc), dias após a semeadura (DAS). Lavras, MG, 2011.

As evapotranspirações reais acumuladas ETr11, ETr31 e ETr51 (Figura 14, E1), de 159 mm, 192 mm e 197mm, em resposta às lâminas brutas de irrigação acumuladas ao final do ciclo A1E1, A3E1 e A5E1, de 132 mm, 150 mm e 168 mm, sob manejo das lâminas bruta de irrigação A1, A3 e A5, interrompidas à época de suspensão E1, acrescidas de 45 mm da precipitação efetiva (Pe) dessa época, foram supridas com saldo excedente de 18 mm, 3 mm e 16 mm, respectivamente. Cabe ressaltar que, encerrada a irrigação dessas lâminas, as ETr11, ETr31 e ETr51 continuaram a aumentar até cerca de 160

DAS (11 dias depois de E2), estabilizando-se em seguida e voltando novamente a aumentar no final do ciclo, com as chuvas, a partir dos 203 DAS. Ainda, ETr31 e ETr51 acompanharam de perto a ETc, até cerca de 10 dias após a suspensão da irrigação (130 DAS).

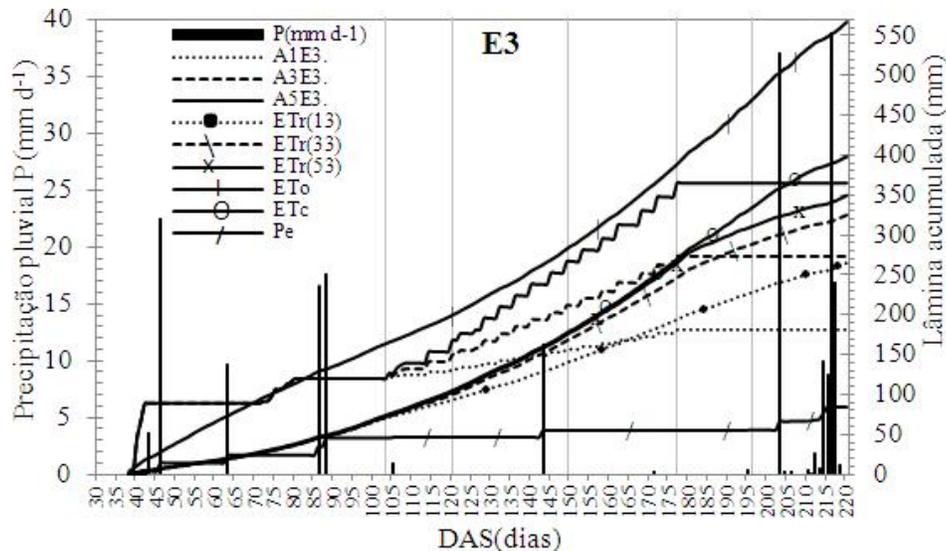


FIGURA 15 Lâminas acumuladas (mm) de evapotranspiração real da cultura, ETr(13), ETr(33) e ETr(53), em resposta às respectivas lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos A1E3, A3E3 e A5E3, com suspensão da irrigação na época E3; precipitação efetiva (Pe), precipitação diária (P), evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc), dias após a semeadura (DAS). Lavras, MG, 2011.

As evapotranspirações reais ETr13, ETr33 e ETr53 (Figura 15, E3), de 265 mm, 325 mm e 350 mm em resposta às lâminas A1E3, A3E3 e A5E3m de 181 mm, 273 mm e 365 mm, sob manejo das lâminas bruta de irrigação A1, A3 e A5, interrompidas à época de suspensão E3, acrescidas de 84 mm (Pe) acumulados no ciclo, foram supridas com saldo excedente de 0 mm, 32 mm e 99 mm, respectivamente. Cabe observar que, cessada a irrigação dessas lâminas, as ETr13, ETr33 e ETr53 continuaram a aumentar até o final do ciclo, porém, a

taxas decrescentes a partir desse estágio E3. Ainda, ETr53 seguiu de perto a ETc, até o momento da suspensão da irrigação.

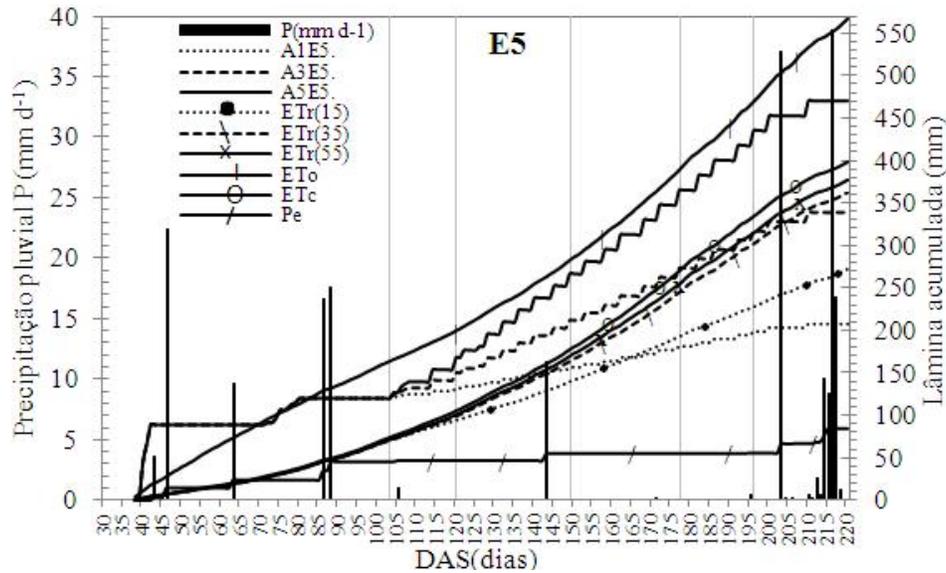


FIGURA 16 Lâminas acumuladas (mm) de evapotranspiração real da cultura, ETr(15), ETr(35) e ETr(55), em resposta às respectivas lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos A1E5, A3E5 e A5E5, com suspensão da irrigação na época E5; precipitação efetiva (Pe), precipitação diária (P), evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc), dias após a semeadura (DAS). Lavras, MG, 2011.

Já as evapotranspirações reais ETr15, ETr35 e ETr55 (Figura 16, E5), de 272 mm, 363 mm e 377 mm, em resposta às lâminas A1E5, A3E5 e A5E5, de 208 mm, 339 mm e 470 mm, sob manejo das lâminas bruta de irrigação A1, A3 e A5, interrompidas à época de suspensão E5, acrescidas de 84 mm (Pe) acumulados no ciclo, foram supridas com saldo excedente de 20 mm, 60 mm e 177 mm, respectivamente. Cabe destacar que, interrompida a irrigação dessas lâminas, ETr15, ETr35 e ETr55 continuaram a aumentar até o final do ciclo, porém, a taxas decrescentes a partir do estágio E4, e que ETr35 em cerca de 9%

e 5 e ETr55 foram semelhantes à ETC, subestimando-a ao final do ciclo %, respectivamente.

Nas Figuras 17, 18 e 19 são observados cinco gráficos da proporção percentual de plantas, com a presença de racemos primários (AiEi-1), secundários (AiEi-2) e terciários (AiEi-3), avaliados durante o ciclo, em dias após a semeadura (DAS), um para cada desdobramento dos níveis do fator água (A) dentro das épocas de suspensão da irrigação (A:E1, A:E2, A:E3, A:E4 e A:E5) e um gráfico do percentual de frutos maduros por ordem de racemos (PFr-M1, PFr-M2 e PFr-M3) de plantas dos tratamentos referência A3E5.

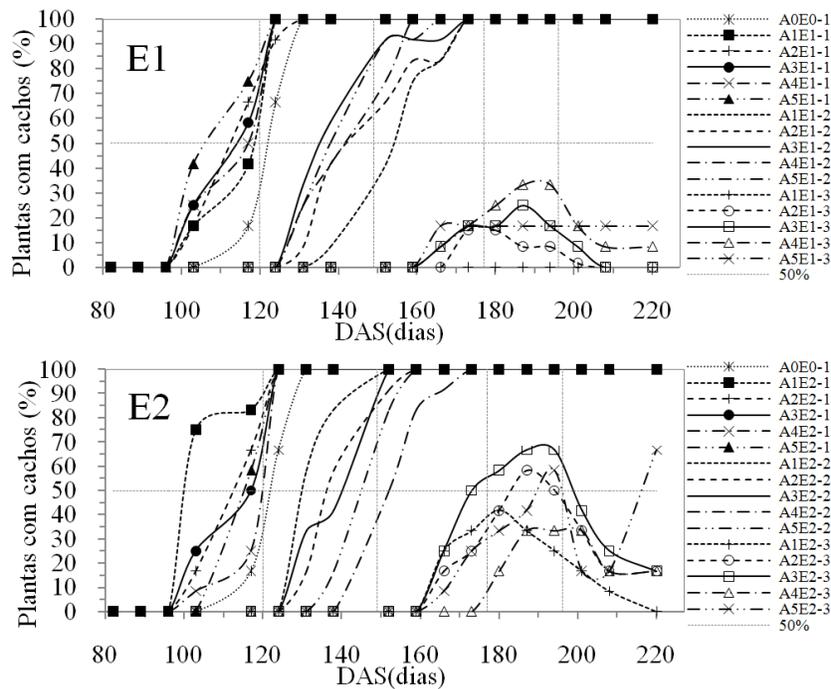


FIGURA 17 Porcentagem de plantas com racemos primários, secundários e terciários, avaliadas nos tratamentos testemunha (A0E0) e combinações fatoriais dos níveis A1, A2, A3, A4 e A5, para as épocas de suspensão da irrigação E1 e E2, ao longo do ciclo em dias após a semeadura (DAS). Lavras, MG, 2011.

Em todos os casos, o ciclo produtivo da cultivar IAC 2028, para três ordens de racemos, observado neste estudo foi de 220 DAS, à exceção de A0E0 e A1E1, que atingiram apenas produção de ordem primária e secundária já aos 177 e aos 196 DAS, respectivamente.

O surgimento das inflorescências primária, secundária e terciária, independente dos fatores Ai e Ei, teve início, em média, aos 96, 124 e 159 DAS, alcançando, para as duas primeiras ordens, 100% de emissão, aos 28 e 35 dias (124 e 159DAS). Para o cultivo sob condições normais, considerada a diferença de 10 dias entre a semeadura (DAS) e a emergência (DAE), esses valores de início de florescimento primário, secundário, terciário e ciclo produtivo diferiram, respectivamente, em 16, 29, 44 e 30 dias dos valores de 70, 85, 105 e 180 DAE indicados por Savy Filho et al. (2007). Este ciclo produtivo e os estádios foram estendidos, possivelmente, em razão das baixas temperaturas e das condições climáticas do período de cultivo desse estudo. Os estádios Eo, E1 e E2, em média, correspondentes à cobertura do solo de 10% (Eo) e à ocorrência de mais de 50% de inflorescências primárias (E1) e secundárias (E2) com possibilidade de ocorrência de antese nessas inflorescências, ocorreram aos 86, 120 e 149 DAS, respectivamente (Figura 17).

Observou-se, para a ordem terciária, evolução maior do percentual de inflorescências com as maiores lâminas e/ou épocas de suspensão da irrigação até os 190 DAS, alcançando, em média, com as épocas de suspensão E1, E2 e E3 (Figuras 17 e 18), o máximo de 20%, 40% e 70%, à exceção de A1E1-3 e A1E3-3, que atingiram o máximo de 25%, reduzindo para 8% ao final do ciclo (220 DAS). Após os 190 DAS, para estas mesmas épocas de suspensão, E1, E2 e E3, observou-se, em média, tendência de redução desses percentuais máximos para 0% até o final do ciclo, exceto para o cultivo de maior lâmina e suspensão

(A5E3), ocorrida 19 dias depois do surgimento das inflorescências terciárias (177-159), atingindo 92%. Contudo, essa tendência não se confirmou, observando-se uma retomada crescente do número de inflorescência terciária até próximo dos 203 DAS, o que, certamente, pode ser explicado pelas chuvas ocorridas a partir desse período até o final do ciclo de cultivo. Entretanto, em nenhum desses tratamentos com retorno do crescimento do número de inflorescências terciárias foi atingida a totalidade de 100% ao final do ciclo.

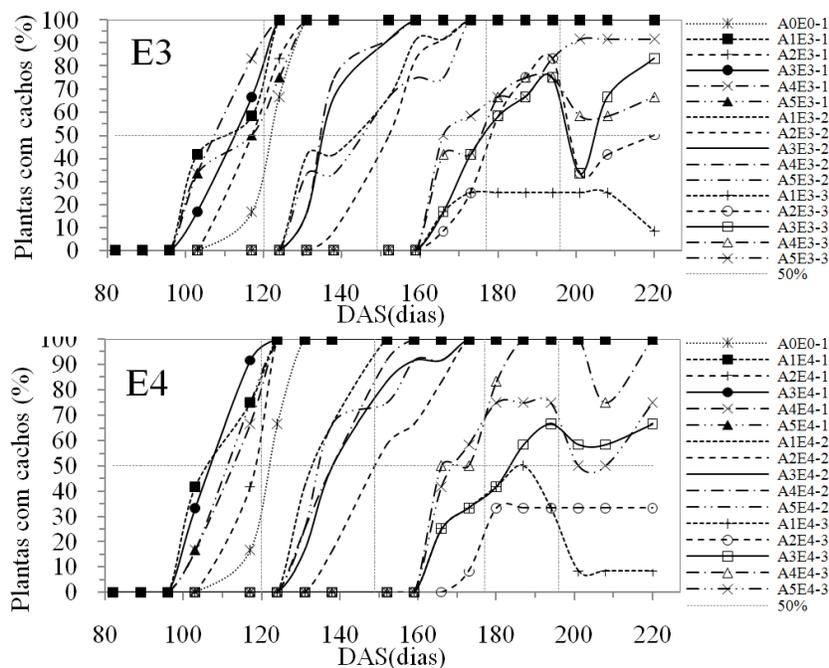


FIGURA 18 Porcentagem de plantas com racemos primários, secundários e terciários avaliadas nos tratamentos testemunha (A0E0) e combinações fatoriais dos níveis A1, A2, A3, A4 e A5, para as épocas de suspensão da irrigação E3 e E4, ao longo do ciclo, em dias após a semeadura (DAS). Lavras, MG, 2011.

Esse mesmo comportamento também foi observado para o percentual de inflorescências terciárias dos cultivos sob as épocas de suspensão E4 e E5

(Figuras 18 e 19), porém, de um modo mais pronunciado e diferenciado, segundo o aumento das lâminas de irrigação. Ao final do ciclo com as suspensões da irrigação a partir da maturação primária (estádios E3, E4 e E5), foram observados os maiores percentuais de inflorescências terciárias com o aumento das lâminas (A) e dos períodos irrigados (E). Para as lâminas A1, A2, A3, A4 e A5, aplicadas em todo o ciclo (E5), os percentuais médios de plantas com inflorescências terciárias foram de 8%, 58%, 75%, 100% e 100%, respectivamente. Observou-se também (Figura 19, A3E5) que, em média, a maturação dos frutos nas ordens primária (PFr-M1), secundária (PFr-M2) e terciária (PFr-M3) dos tratamentos A3E5 teve início aos 140, 163 e 191 DAS, e atingiu o máximo de enchimento de grãos, com mais de 70% de maturação, aos 169, 196 e 220 DAS. Portanto, ocorreu com intervalos de 29, 33 e 29 dias do início ao final da maturação (“período de maturação de fruto” de 30 dias em média, período entre o enchimento e a maturação completa dos frutos) e de 73, 72 e 61 dias a partir do início do surgimento das inflorescências (“período de produção do racemo” primário ou secundário de 70 dias, em média, e 60 dias para o terciário) primárias, secundárias e terciárias, respectivamente. Assim, observou-se que o período de maturação de fruto (30 dias) não difere por ordem de racemos, entretanto, o período de produção completa dos racemos primários e secundários é maior (70 dias) e difere do tempo de produção dos racemos terciários (60 dias).

Em média, esses intervalos entre o florescimento e a maturação de frutos por ordem primária, secundária e terciária são semelhantes aos 75, 73 e 73 dias obtidos entre o início do florescimento, aos 70, 85 e 105 DAE e o ponto de colheita dos racemos, aos 145, 158 e 178 DAE, respectivamente, segundo estudos de Savy Filho et al. (2007) e Fanan et al. (2009), com a mesma cultivar. As épocas de suspensão da irrigação correspondentes aos estádios E3, E4 e E5,

que ocorreram aos 177, 196 e 220 DAS, quando a maturação dos frutos por ordem primária, secundária e terciária foi, em média, de mais de 90%, 70% e 70%, ou mais de 50% para todas essas ordens, aos 165, 190 e 215 DAS, respectivamente.

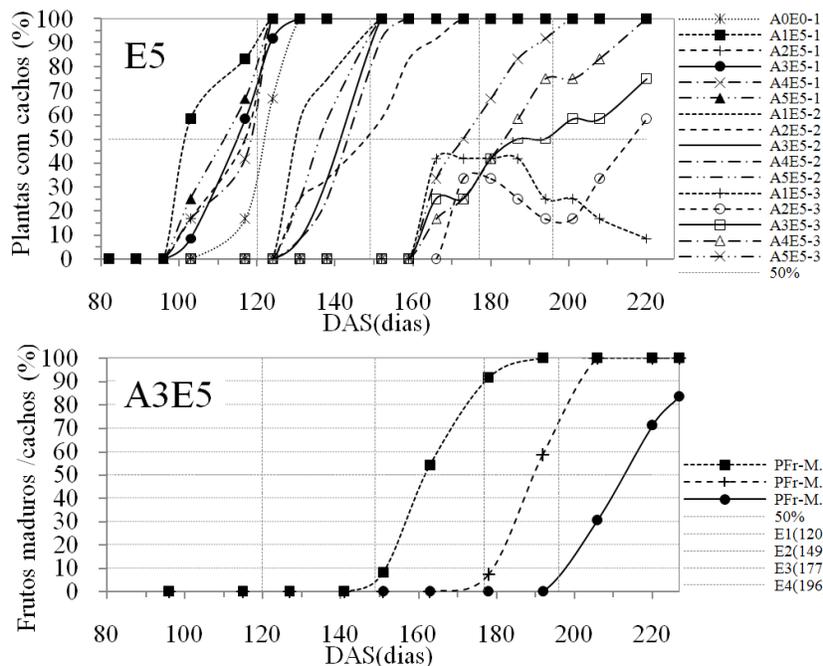


FIGURA 19 Porcentagem de plantas com racemos primários, secundários e terciários, avaliadas nos tratamentos testemunha (A0E0) e combinações fatoriais dos níveis A1, A2, A3, A4 e A5, para a época de suspensão da irrigação E5 e curvas do percentual de frutos maduros (PFr.M1, PFr.M2 e PFr.M3) dessas respectivas ordens de racemos no tratamento A3E5, ao longo do ciclo, em dias após a semeadura (DAS). Lavras, MG, 2011.

#### 4.2 Variáveis vegetativas de fitomassa e área foliar

Na Tabela 4 encontram-se os resultados de área foliar específica com (AFE c/n) e sem nervura principal da folha (AFE s/n), determinados pelo método dos discos aos 120 DAS (13/7), por estrato inferior, médio e superior da

planta (correspondentes aos respectivos terços da planta). Como esperado, observaram-se, para AFE s/n, os menores valores em relação à AFE c/n, ambas com baixas margens de erro (ME95% entre -5,15 e +5,15 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>) e coeficiente de variação (CV% entre 3,5% e 8,08%).

TABELA 4 Área foliar específica (AFE) de folhas do estrato inferior, médio, superior e média por planta, com e sem a nervura central do folíolo principal, determinada pelo método dos discos, aos 120 DAS (13/7). Lavras, MG, 2011

Var. Rep.	AFE s/nervura central - Folha/Estrato				AFE c/nervura central - Folha/Estrato				Méd.G.
	inferior	médio	superior	Méd	inferior	médio	superior	Méd	
	.....(cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ).....				.....(cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ).....				
1	166,53	175,19	165,92	169,21	95,78	103,65	98,97	99,46	134,34
2	176,84	185,87	189,46	184,06	105	103,08	106,94	105,01	144,53
3	189,94	174,92	190,1	184,99	108,8	111,21	116,31	112,11	148,55
Méd.	177,77	178,66	181,83	179,42	103,19	105,98	107,41	105,53	142,47
±ME95%	±4,38	±2,33	±5,15	±3,3	±2,50	±1,69	±3,24	±2,37	±2,74
CV%	6,60	3,50	7,58	4,93	6,49	4,28	8,08	6,01	5,14

\* ±ME95% margem de erro, a 95% de probabilidade; CV% coeficiente de variação em porcentagem.

Em média, independente do estrato da planta, a AFEs/n de valor médio de 179,4 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> foi 70% maior que a AFEc/n, de 105,5 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>. Contudo, ambas as AFEs tiveram tendência de aumento com as folhas dos estratos inferior, médio e superior da planta, observando-se valores médios de 177,8 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, 178,7 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> e 181,8 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, para AFEs/n e de 103,2 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, 106,0 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> e 107,4 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, para AFEc/n, respectivamente, com média geral com e sem nervura principal AFE de 142,47 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>. Esse aumento da AFE ao longo dos estratos da planta pode ser explicado, possivelmente, em razão da menor proporção de massa foliar por unidade de área das folhas mais novas que se concentram em maior número nos estratos superiores da planta e a diferença de 70% de AFEs/n em relação à AFEc/n, em razão do adicional de massa foliar por unidade de área quando se consideram suas nervuras. Nas Figuras 20 e 21 são observadas as variáveis de crescimento da cultura, medidas no tratamento A3E5, ao longo do

ciclo (DAS). Essas variáveis referem-se, na Figura 20, a número de folhas total observado (NFTo) e estimado por planta (NFTe) e matéria seca da parte aérea (MSPA), particionada em matérias seca do caule (MSC), matéria seca caulinar total, incluindo-se as inflorescências e racemos (MSCT) e matéria seca foliar (MSF).

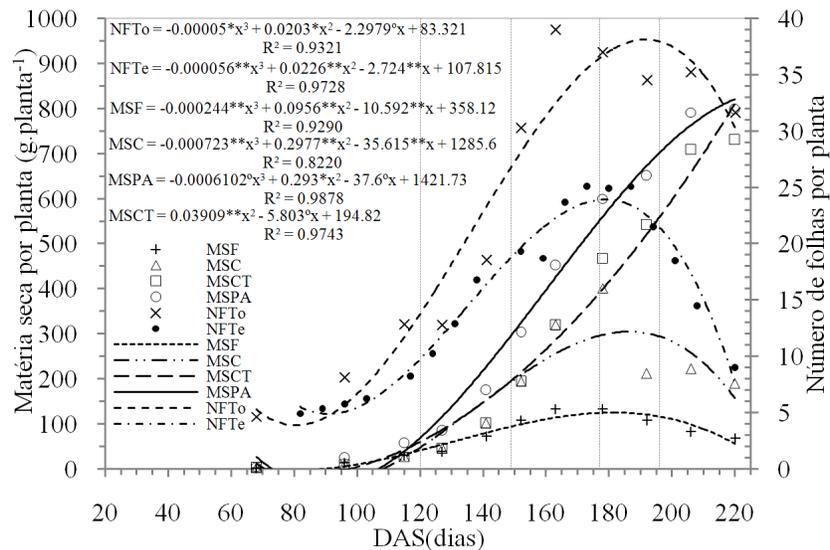


FIGURA 20 Curvas de crescimento da cultura no tratamento A3E5 relativas ao número total de folhas observadas (NFTo) e estimadas por planta (NFTe); matéria seca da parte aérea por planta (MSPA) dividida em caule (MSC), caulinar total exceto limbos foliares (MSCT) e limbos foliares (MSF), ao longo do ciclo, em dias após a semeadura (DAS). Observação: os símbolos °, \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 10%, 5% e 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Na Figura 21, referem-se à área foliar específica média (AFE) e aos índices de área foliar IAF, obtidos por dois métodos, IAFafe e IAFmd, por amostragem destrutiva e IAFafc, IAFmfc e IAFmec, por amostragem expedita no campo não destrutiva. A superfície do limbo foliar por unidade de massa seca

das folhas, ou seja, a área foliar específica (AFE), foi determinada durante os estádios da cultura e serve de avaliação da eficiência das folhas no processo de fotossíntese, deduzindo-se sua contribuição para o crescimento e/ou o desenvolvimento foliar no direcionamento de fotoassimilados (MAGALHÃES, 1986). Segundo Benincasa (2003), esse índice inicialmente mais elevado indica folhas pouco espessas, com pequena massa seca e área foliar.

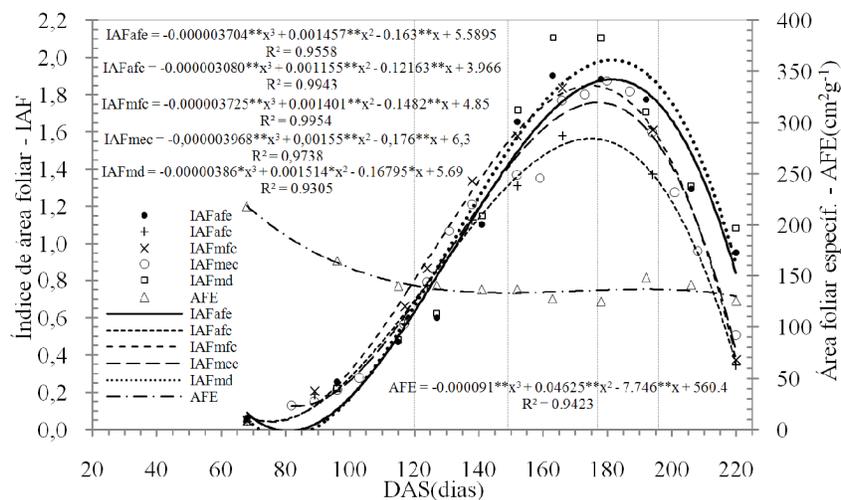


FIGURA 21 Curvas de área foliar específica (AFE) e índices de área foliar (IAF) estimados por amostragem destrutiva (IAFafe e IAFmd) e não destrutiva de folhas (IAFafc, IAFmfc e IAFmec), no tratamento A3E5, ao longo do ciclo em dias após a semeadura (DAS). Observação: os símbolos \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 5% e a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Conforme gráfico da Figura 21, isso foi verificado durante os estádios iniciais da mamoneira até a fase de antese primária (E1) e, a partir daí e até o final do ciclo do tratamento referência (A3E5), estabilizou-se com ligeira queda após o estágio de maturação secundária (E4), no final do ciclo. Essa estabilização da AFE entre E1 e E4 pode ser justificada pelo aumento no número

de folhas e/ou a expansão da área foliar, refletindo na maior capacidade fotossintética. Quanto à ligeira redução de AFE após E4, possivelmente, isso está ligado à senescência das folhas velhas, com emissão e/ou permanência de folhas novas. Na fase inicial da cultura, até os 86 DAS (E0), às vésperas do surgimento das inflorescências primárias (96 DAS), fase I, correspondente a cerca de 40% do ciclo de cultivo de 220 DAS, observou-se (Figuras 20 e 21) que o crescimento foi muito lento, contendo, em média, cerca de 5 folhas.planta<sup>-1</sup> (NFTo), matéria seca da parte aérea de 25 g planta<sup>-1</sup> (MSPA), índice de área foliar de 0,1 (IAFafe), próximo da fração de cobertura (fc) também de 0,1 e área foliar específica de 178 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> (AFE). Esse comportamento inicial da cultura pode estar ligado à ambientação das mudas no campo, às condições climáticas do período de cultivo fora da época recomendada e/ou às características morfofisiológicas, preferencialmente, direcionadas nessa fase ao estabelecimento do sistema radicular da planta (BELTRÃO et al., 2005). Nessas condições de cultivo, considerando o espaçamento adotado e o período crítico de prevenção da interferência (PCPI), é possível que se faça, nesta fase inicial, o cultivo consorciado com outras culturas de valor econômico (tais como milho, feijão, girassol, cucurbitáceas, etc.) e ciclo mais precoce compatível com essa fase.

Após a fase I, iniciou-se a fase de crescimento ou fase II, observando-se o acentuado crescimento da parte vegetativa da cultura até próximo ao estágio de antese secundária, aos 149 DAS (E2), correspondente ao final dessa fase e, consecutivamente, o início da fase intermediária ou de produção, fase III. Nesta fase III, o crescimento ocorreu com rendimentos decrescentes até o estágio de maturação primária, aos 177 DAS (E3), estabilizando-se até atingir valores máximos estimados de 38 folhas-planta<sup>-1</sup> (NFTo), IAFafe de 1,9, matéria seca foliar de 125 g.planta<sup>-1</sup> (MSF) e matéria seca de caule máxima de 300 g planta<sup>-1</sup>

(MSC), encerrando-se esta fase no estágio de maturação terciária, aos 196 DAS (E4), quando teve início a fase final de senescência, fase IV, com acentuada redução do crescimento, até encerrar-se o ciclo, aos 220DAS, no estágio de maturação terciária (E5) (Figuras 20 e 21). Do início ao final dessa fase final (IV), ocorreu diminuição do NFTo de 38 para 30 folhas-planta<sup>-1</sup>; do IAFafe, de 1,9 para 0,8; da MSF, de 125 para 57 g planta<sup>-1</sup> e da MSC, de 300 para 160 gplanta<sup>-1</sup>. Contudo, atingiu, ao final do ciclo (220 DAS), os valores máximos de matéria seca caulinar total de 810 g planta<sup>-1</sup> (MSCT) e total da parte aérea (MSPA) de 834 g planta<sup>-1</sup> (Figura 20). Já a AFE manteve-se praticamente constante, desde o estágio de antese primária aos 120 DAS (E1) até o final do ciclo de cultivo (E5), com média de 133 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> (Figura 21).

As fases I, II, III e IV tiveram duração de 86, 63, 47 e 24 dias, correspondentes a 39%, 29%, 21% e 11% do ciclo da cultura, sendo as duas primeiras fases de maiores duração (fases I e II), à semelhança do que foi relatado por Rios et al. (2011a), considerando o período de cultivo e os critérios adotados para a determinação dessas fases. Contudo, esses resultados são distintos dos tabelados por Allen et al. (1998) de ciclo de 180 dias e sendo as duas últimas fases de maiores duração ( III e IV), com porcentagem das fases I, II, III e IV de 14%, 22%, 36% e 28%, respectivamente.

Cabe destacar que, do ponto de vista vegetativo, as fases I, II, III e IV não se distinguem umas das outras completamente, visto que, encerrada a fase vegetativa inicial (I), o crescimento vegetativo, assim como o reprodutivo, continua a ocorrer indefinidamente, enquanto houver disponibilidade de água e fertilidade do solo, condições meteorológicas favoráveis e controle de pragas e doenças.

As curvas das variáveis de fitomassa da cultura e número de folhas total por planta (NFT) foram bem ajustadas aos dados observados pelo polinômio de

3º grau, exceto para a MSCT de 2º grau, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das variáveis NFTo, NFTe, MSF, MSC, MSPA, MSCT e AFE de 93%, 97%, 93%, 82%, 99%, 97% e 94% e coeficientes significativos a, pelo menos, 10% de probabilidade, pelo teste t, respectivamente (Figura 20). Já os dados de índice de área foliar foram bem ajustados, sem exceção, pelo polinômio de 3º grau, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos índices IAFafe, IAFafc, IAFmfc, IAFmec e IAFmd de 95%, 99%, 99%, 97% e 93%, respectivamente e coeficientes significativos a, pelo menos, 5% de probabilidade, pelo teste t(\*) (Figura 21).

Os valores referentes à fitomassa, estimados aos 86, 120, 149, 177, 196 e 220 DAS, correspondentes aos estádios Eo, E1, E2, E3, E4 e E5, foram, respectivamente, para o NFTo, de 7, 14, 27, 36, 38 e 30 folhas-planta<sup>-1</sup>; para NFTe, de 5, 10, 19, 24, 22 e 8 folhas-planta<sup>-1</sup>; para a MSF, de 11, 42, 95, 125, 117 e 57 g.planta<sup>-1</sup>; para a MSC, de 11, 49, 197, 300, 398 e 160 g planta<sup>-1</sup>; para a MSCT, de 11, 61, 198, 392, 552 e 810 g planta<sup>-1</sup>; para a MSPA, de 25, 75, 306, 562, 713 e 834 g planta<sup>-1</sup> e, para a AFE, de 157, 140, 132, 134, 134 e 126 cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>.

Cabe notar a subestimativa do número de folhas estimadas (NFTe) em relação à observada em amostragem destrutiva (NFTo). Essa diferença se deu, provavelmente, porque, no processo de contagem no campo, eram prescindidas as folhas completas pequenas, eventualmente numerosas e escondidas dentro da copa da planta. Nos estádios Eo, E1, E2, E3, E4 e E5, os valores estimados de IAF obtidos pelos métodos de amostragem destrutiva (IAFafe e IAFmd) foram, respectivamente, para o IAFafe, de 0,10; 0,61; 1,40; 1,85; 1,72 e 0,81 e, para o IAFmd, de 0,10; 0,67; 1,51; 1,99; 1,87 e 0,92. Já os valores de IAF obtidos pelos métodos de amostragem não destrutiva (IAFafc, IAFmfc e IAFmec) foram, respectivamente, para o IAFafc de 0,10; 0,68; 1,30; 1,54; 1,31 e 0,31; para o IAFmfc, de 0,10; 0,80; 1,55; 1,85; 1,58 e 0,39 e, para o IAFmec, de 0,10; 0,64;

1,36; 1,70; 1,47 e 0,35, nos respectivos estádios Eo, E1, E2, E3, E4 e E5 (Figura 21).

Kotz (2012) obteve IAF máximo para a mamoneira 'IAC 2028', na safrinha, abaixo de 3, valor este próximo ao obtido para a cultura da soja (HEIFFIG et al., 2006) sob população de plantas (0,45 m x 110.000 plantas ha<sup>-1</sup>) e condições climáticas semelhantes à de Botucatu, SP (Cwa). Segundo Beltrão et al. (2007), o IAF da cultura da mamona em condições de sequeiro varia entre 2 e 4.

O IAF é um índice que expressa essa capacidade, variando de acordo com espécies vegetais, clima, estações do ano, estádios de desenvolvimento da planta e densidade de plantio entre outros fatores. A densidade de plantas afeta tanto o valor máximo do IAF atingido pela cultura quanto o período de tempo decorrido desde a emergência até a estabilização do crescimento e, conseqüentemente, a absorção da radiação solar incidente. Nos primeiros estádios, a área foliar é pequena e, por conseqüência, o IAF é baixo, acarretando grandes perdas de aproveitamento da radiação, atingindo diretamente maior fração do solo exposto (ANDRIOLO, 1999; HEIFFIG, 2002). Com o desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, da área foliar, a interceptação da radiação atinge um máximo, sem haver, ainda, problemas de sombreamento das folhas inferiores. Desse ponto em diante, quando começa ocorrer o autossombreamento, as folhas inferiores tornam-se deficitárias, em termos da fotossíntese líquida, tendendo à estabilização do acréscimo de matéria seca e área foliar. Monteiro (2005) avaliou o crescimento vegetativo da mamoneira sob diferentes espaçamentos e constatou sua influência sobre o tempo de fechamento entre ruas da cultura.

As estimativas do IAF pelos diferentes métodos utilizados não diferiram significativamente até os três primeiros estádios Eo, E1 e E2, até o final da fase

II do tratamento A3E5, com valores estimados de 0,10; 0,69 e 1,42, respectivamente. Contudo, do estágio E3 ao final do ciclo de cultivo E5, os respectivos índices IAFafe foram subestimados pelos métodos de campo (IAFafc, IAFmfc e IAFmec) e superestimados pelo método do disco (IAFmd). No estágio de maturação dos racemos primários (E3), o IAF estimado foi máximo e ficou em torno do IAFafe médio máximo de 1,85, sendo significativamente subestimado desse valor pelos IAFmec, de 1,70 e IAFafc, de 1,54 e sobrestimado pelo IAFmd, de 1,99. Nos estádios subsequentes de maturação secundária (E4) e final do ciclo com maturação terciária (E5), os respectivos índices estimados IAFafe, de 1,72 e 0,81, foram subestimados desses valores por IAFmfc de 1,58 e 0,39, IAFmec de 1,47 e 0,35, IAFafc de 1,31 e 0,31, e superestimados pelos IAF.md de 1,87 e 0,92, respectivamente.

Os valores observados de área foliar unitária obtida pelo método padrão (LI-3000) foram confrontados com os estimados por amostras destrutivas com o uso da foto (AFafe) e pelo método do disco (AFmd), assim como com os estimados por dois modelos matemáticos potenciais dependentes de duas b2 (AFb2) ou de uma a1 (AFa1) das medidas da folha (P e L) obtidas de avaliações expeditas no campo. Dessa forma, observou-se que AFa1 e AFmd superestimaram o método padrão em 10% (com coeficientes lineares b1 de 1,088 e 1,1039), especialmente para classes de área foliar maiores de 800 cm<sup>2</sup> e, para classes menores que esse valor, um erro médio subestimado de até -67 cm<sup>2</sup> (coeficientes do intercepto-y b0 de -67,423 e -41,98). Para a área foliar unitária estimada com o uso da foto por amostragem destrutiva (AFafe) e não destrutiva com o uso do modelo b2 (AFb2), observaram-se os melhores resultados, com subestimação média inferior a 4% (coeficientes b1 de 0,9636 e 0,9857), em todas as classes de folhas, com erro médio de concordância inferior a +8cm e -

0,5 cm (coeficientes do intercepto-y b0 de +7,75 e -0,45), resultados esses também observados por Rios et al. (2011b).

Já, ao se confrontar os índices de área foliar obtidos com auxílio de amostras destrutivas (IAFafe e IAFmd), observou-se que houve um melhor ajuste da curva de IAFafe ( $R^2=96\%$  e coeficientes significativos a 1%) em relação à curva de IAFmd ( $R^2=93\%$  e coeficientes significativos a 5%), cuja maior diferenciação de valores ocorreu apenas aos 163, 178 e 220 DAS de avaliação (7ª, 8ª e 10ª avaliação). Isto se deve, possivelmente, à superestimação da área foliar obtida pelo método dos discos (AF.md), em comparação com os valores observados pelo método padrão (LI-3000), conforme Rios et al. (2011b). Assim, elegendo-se o IAFafe como referência, observou-se que as curvas de IAFmd, IAFmfc e IAFmec tiveram as melhores concordâncias em todo o ciclo da cultura, com IAFmd superestimando, IAFmfc e IAF subestimando a curva de IAFafe em, no máximo, cerca de 7% nas fases III e IV, respectivamente (Figura 21).

Por outro lado, apesar dos melhores ajustes ( $R^2 > 97\%$  e coeficientes significativos a, pelo menos, 1%, dos índices por amostras não destrutivas IAFafc, IAFmfc e IAFmec, as curvas de IAFmfc e IAFmec tiveram as melhores concordâncias em relação à curva IAFafe e a curva de IAFafc subestimou-a a partir do estágio de máximo desenvolvimento até o final do ciclo (fases III e IV) em até 22% (Figura 21). A metodologia de estimativa dos índices IAFafc, IAFmec e IAFmfc foi a mesma com relação à contagem do número de folhas por planta (NF<sub>Te</sub>), porém, por outro lado, a técnica de medida da área foliar unitária foi distinta em cada um desses índices.

Por isso, essas subestimativas de IAFafc, IAFmec e IAFmfc em relação a IAFafe, nas duas últimas fases III e IV, possivelmente está ligada à menor frequência de avaliações na fase IV com relação aos índices IAFafc e IAFmfc, e,

principalmente, à característica de abertura natural da folha em relação ao modo de estimativa da área foliar, obtida mediante o modelo matemático b2 ou com uso da foto, em amostras destrutivas ou não destrutivas. No campo, as folhas não se encontram totalmente abertas (planas) e, sim, parcialmente fechadas, à semelhança de guarda-chuva invertido, especialmente, as folhas mais novas dos estratos médio e superior da planta, nos estádios de maior desenvolvimento.

Em vista disso, verificou-se a subestimativa natural da área de uma folha obtida por amostragem não destrutiva sem alterar sua abertura e/ou extraí-la da planta em relação à destrutiva IAFafe. Nesse último caso, a folha era mensurada extraindo-se da inserção do pecíolo o limbo foliar que, em seguida, era totalmente apoiado sobre o plano do equipamento fotográfico e, dessa forma, a área mensurada com exatidão, conforme Rios et al. (2011b). Contudo, cabe ressaltar que o modelo b2 foi ajustado e validado para dimensões foliares obtidas com o uso de imagem em amostras destrutivas e que superestimou folhas pequenas em até 17,6%, conforme Severino et al. (2004) e Rios et al. (2011b). Por essa razão, possivelmente, o IAFmfc teve valores maiores e próximos de IAFafe, nas três fases I, II e III. Portanto, a versatilidade de utilização do equipamento fotográfico no campo em amostras destrutivas é promissora, assim como seu uso para medir a área foliar diretamente na planta sem destruí-la. Entretanto, nesse caso, ainda requer aperfeiçoamentos com precisão e/ou acurácia, cuidados operacionais e estudos de modelos de ajustes a essa condição natural de abertura da folha e sua distribuição por estrato na planta.

#### **4.3 Variáveis vegetativas fenológicas dos tratamentos**

As variáveis desse tópico são abordadas conforme itens abaixo relacionados.

### 4.3.1 Altura e número de plantas com ramos laterais

Na análise de variância (Tabela 2A) observou-se que os fatores lâminas (A) e época de suspensão da irrigação (E) influenciaram a altura de planta (HP) de modo dependente, com efeito significativo da interação do fatorial com a testemunha (Fat x Tes), dos fatores (AxE) e destes com o período de tempo do ciclo da cultura (AxExT). HP variou significativamente ao longo do ciclo da cultura (T), observando-se interação significativa com as lâminas (AxT) e épocas (ExT), conforme Tabelas 4A e 5A, assim como interação tripla (AxExT), conforme Tabelas 6A e 7a, com valores médios das curvas de cada fatorial nas Tabelas 8A e 9A. Os valores médios de HP, quando submetidos à análise de regressão (Tabela 3A, Figura 22), tanto em função de A quanto em função de E, indicaram, entre os três modelos testados, efeito linear positivo, significativamente ajustado, a 1% de probabilidade com  $R^2$  entre 68% e 98% (Tabela3A, Figura 22).

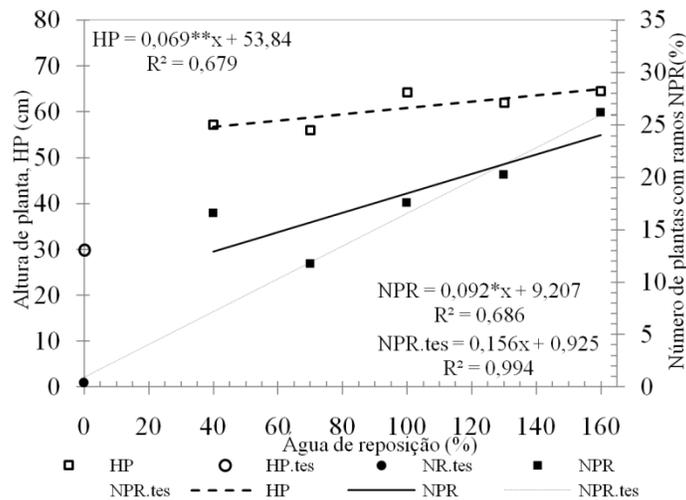


FIGURA 22 Média do número de plantas com ramos laterais (NPR) e altura de planta (HP), em função das lâminas de água de reposição (A). Os símbolos \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 5% e a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Para os valores médios do número de plantas com ramos laterais (NPR), observou-se (Tabela 2A) que as lâminas (A) e as épocas (E) agiram de modo independente e que NPR teve ajuste linear positivo em função das lâminas (A) com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 69 (Figura 22). Em termos médios, HP aumentou linearmente com a maior lâmina (A), à taxa de 0,07cm/% (Figura 22), com os menores valores médios para HP de 30 cm, para o tratamento de sequeiro (A0E0 ou HP.tes).

As curvas de ajuste dos valores médios altura HP tiveram bons ajustes com  $R^2$ , de 96% a 99%, significativos a 1% de probabilidade, segundo o modelo de 3º grau (Tabelas 6A e 7A), e os maiores valores médios de HP observados nos estádios E0, E1, E2, E3, E4 e E5 foram de cerca de 18 cm, 40 cm, 72 cm, 105 cm, 112 cm e 114 cm, para o cultivo A4E4 e os menores para a testemunha, de 16 cm, 26 cm, 31 cm, 39 cm, 38 cm e 27 cm, respectivamente (Tabelas 8A e 9A). As curvas de ajuste dos valores médios do número de ramos ladrões NPR, ao longo do ciclo desdobrado por lâminas (T:A) e épocas (T:E), tiveram bons ajustes, com  $R^2$  de 75% e 85%, significativos a 1% de probabilidade, segundo o modelo de 3º grau, com expressivos maiores valores para a curva de cultivo A5E5, e os menores, ou quase nulos, durante todo o ciclo, para a testemunha (NPR.tes) (Figura 23). Os maiores valores médios de NPR estimados nos estádios E0, E1, E2, E3, E4 e E5 foram de 0%, 10%, 40%, 65%, 70% e 65%, para o cultivo com lâmina A5 e de 0%, 5%, 20%, 35%, 34% e 13%, para o cultivo com lâmina A2 (Figura 23). Esse comportamento com as maiores e excessivas lâminas (A5) de irrigação suspensa em épocas tardias (E5) é, possivelmente, indicativo de maior investimento fisiológico da planta na parte vegetativa, comparativamente à produção, alternando, nesse sentido, o balanço fonte-dreno no aproveitamento dos fotoassimilados. Observou-se, para os

tratamentos irrigados, que HP e NPR tiveram crescimento acentuado até o estágio E2, atingiram, sob incrementos decrescentes, os valores máximos até próximo do estágio E4 e, a partir desse estágio, tiveram um decréscimo acentuado até o final do ciclo (E5). Para as menores lâminas, épocas e/ou testemunha esse comportamento foi semelhante, porém, retardado e com crescimento menos acentuado durante o ciclo (Figura 23, Tabelas 8A e 9A).

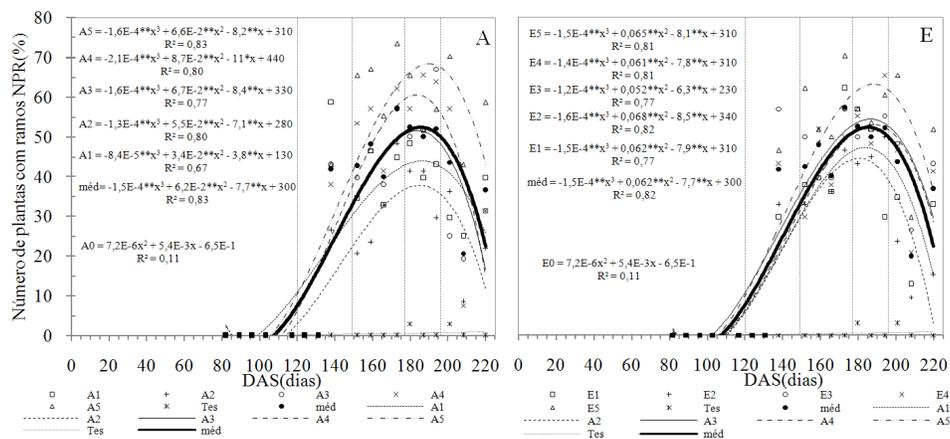


FIGURA 23 Valores médios do número de plantas com ramos laterais ou “ladrões” (NPR), com curvas ajustadas para as lâminas de água A0, A1, A2, A3, A4 e A5 (A) e para as épocas de suspensão da irrigação E0, E1, E2, E3, E4 e E5 (E), ao longo do ciclo, em dias após a semeadura (DAS). O símbolo \*\* corresponde à significância do coeficiente de ajuste pelo teste t, a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

#### 4.3.2 Área foliar unitária por estratos e número de folhas por planta

Conforme a análise de variância (Tabela 2A), observou-se que os fatores lâminas (A) e época de suspensão da irrigação (E) agiram de modo independente em relação à variação da área foliar unitária dos estratos inferior (Ai), médio (Am) e superior da planta (As). As lâminas A influenciaram significativamente todas essas características, exceto As. As épocas de suspensão E, por sua vez, à

exceção de Ai, influenciaram significativamente Am e As. Entretanto, todas essas características (Ai, Am, As) variaram significativamente ao longo do ciclo da cultura (T), observando-se também interação significativa com as épocas (ExT) e lâminas (AxT). Em termos médios, as dimensões foliares por estrato inferior, médio e superior e respectivas áreas de folha unitária Ai, Am e As reduziram-se observando-se um gradiente de área foliar decrescente com os estratos da copa da planta e um aumento linear dessas áreas foliares com o aumento das lâminas A, à taxa crescente de 0,97 cm<sup>2</sup>/%, 0,65 cm<sup>2</sup>/% e 0,41 cm<sup>2</sup>/%, respectivamente (Figura 24).

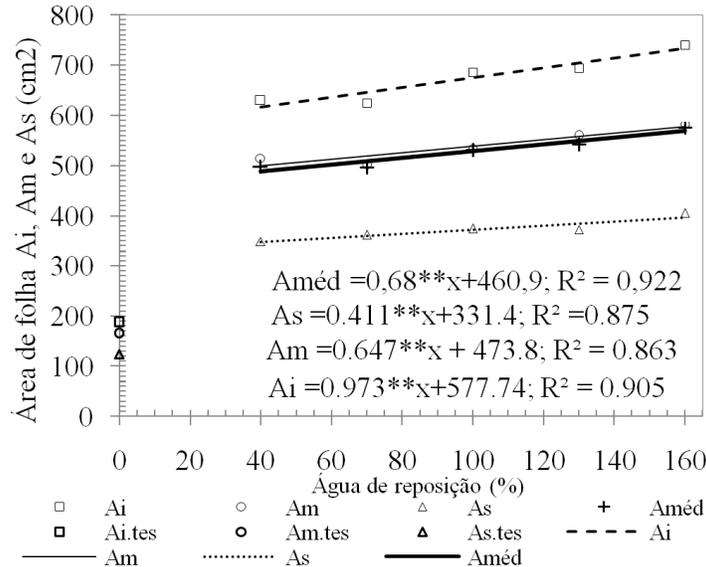


FIGURA 24 Medidas médias da área foliar unitária coletada nos estratos inferior (Ai), médio (Am) e superior (As); diâmetro menor (D1) e maior (D2) da copa e altura de planta (HP), em função das lâminas de água de reposição pela irrigação (A). O símbolo \*\* corresponde à significância do coeficiente de ajuste pelo teste t, a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Considerando esses resultados, constata-se que a área foliar média unitária dessas três folhas por estrato da planta (Améd) atingiu taxa de

crescimento de  $0,68 \text{ cm}^2/\%$ , próxima à área foliar do estrato médio (Am), oscilando simetricamente com os tratamentos, entre as áreas do estrato inferior (Ai) e superior (As). Para a lâmina de referência A3, os valores médios de Ai, Am e As foram de 686, 534 e  $374 \text{ cm}^2$ , respectivamente. Os valores médios dessas características, quando submetidos à análise de regressão, tanto em função de A quanto em função de E, ao longo do ciclo, indicaram, entre os três modelos testados, bons ajustes, com  $R^2$  de 73% e 95%, significativos a 1% de probabilidade, segundo o modelo de 2º grau (Tabelas 4A e 5A). Na Figura 25 são observadas as curvas de ajuste do crescimento da cultura aos valores médios dos tratamentos fatoriais ao longo do ciclo (DAS), com relação à Ai, Am, As e suas respectivas áreas (Aites, Amtes, Astes) do tratamento testemunha e Améd. Observou-se que os valores de Améd dos tratamentos fatoriais foram superiores aos da testemunha e que, a partir do estágio Eo até próximo ao estágio E1, aumentaram acentuadamente, atingindo, com incrementos decrescentes, os maiores valores até próximo do estágio E2 para a testemunha e até próximo ao estágio E3 para os tratamentos fatoriais. Em seguida, reduziram-se acentuadamente, até os estágios finais E4 e E5. Observou-se, ainda, que as áreas foliar Ai, Am e As tiveram um gradiente crescente a partir do estrato inferior da copa e que a variação de Am e Améd foi muito semelhante ao longo de todo o ciclo da cultura. Isso sinaliza que a Am corresponde e/ou representa Améd, o que, em termos práticos, pode simplificar a metodologia utilizada na determinação do IAF, abordada a seguir. Esses resultados sinalizam que a metodologia adotada para a determinação do índice de área foliar (IAF), abordado a seguir, utilizando-se de amostragem não destrutiva de uma folha por terço (estrato) da planta, foi adequada, ou que é possível uma simplificação ainda maior, amostrando-se apenas uma folha do estrato médio (Am). Porém, ressalta-se que, para reforçar isso, é preciso que se faça um estudo específico.

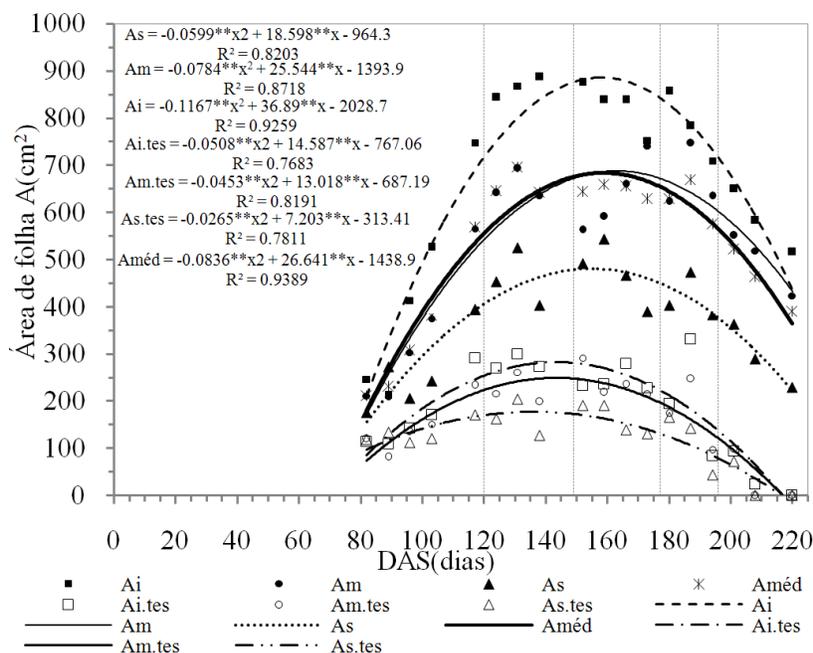


FIGURA 25 Curvas ajustadas aos valores médios de área foliar unitária coletada nos estratos inferior (Ai), médio (Am) e superior (As) e respectivas áreas da testemunha (Ai.tes, Am.tes e As.tes), área foliar unitária média por planta (Améd) ao longo do ciclo, em dias após a semeadura (DAS). O símbolo \*\* corresponde à significância dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Segundo a análise de variância (Tabela 10A), observou-se que os fatores lâminas (A) e época de suspensão da irrigação (E) agiram de modo independente em relação à variação do número de folhas por planta anteriores (NFA) e posteriores (NFP) à marcação e total (NFT). Todavia, todas essas características foram significativamente afetadas tanto pelas lâminas (A) quanto pelas épocas (E). Essas características também variaram significativamente ao longo do ciclo da cultura (T), observando-se interação significativa com as épocas (ExT) e lâminas (AxT). Os valores dessas características (NFA, NFP, NFT), em termos

médios, quando submetidos à análise de regressão (Tabela 11A), tanto em função das lâminas (A) quanto das épocas (E), indicaram um ajuste linear simples, a 1% de significância, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) entre 69% e 96%.

Na Figura 26 são observados os valores médios do número de folhas NFA, NFP e total NFT, este último composto pelo total dos dois primeiros, verificando que aumentaram linearmente com acréscimo da lâmina (A), a taxas médias crescentes de 0,003 folhas/%, 0,030 folhas/% e 0,033 folhas/% e os menores valores médios observados ocorreram sem irrigação (testemunha).

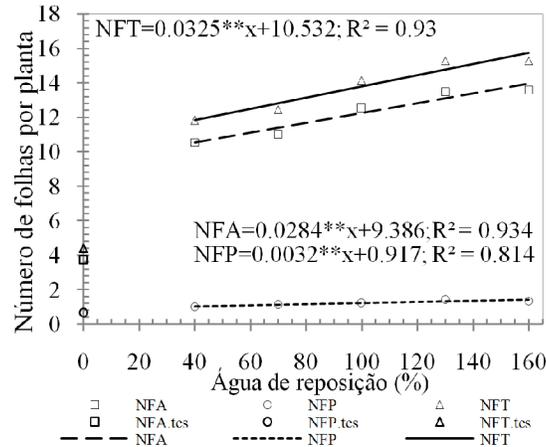


FIGURA 26 Médias do número de folhas anterior (NFA) e posterior (NFP) à marcação, total por planta (NFT) e respectivas medidas da testemunha (tes), em função das lâminas de água de reposição pela irrigação (A). O símbolo \*\* corresponde à significância dos coeficientes de ajustes, pelo teste t, a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Ao longo do ciclo da cultura, estádios (Eo, E1, E2, E3, E4 e E5) e/ou fases (I, II, III e IV) (Figura 27), o número de folhas jovens NFP, em fase adulta NFA e total NFT, tiveram, em termos médios, comportamento cúbico, sendo observado, para NFA e NFT, um aumento lento na fase I (Eo), seguido de um

aumento acentuado na fase II (E2). Do final desta fase em diante, até o final da fase III (E4), NFA e NFP atingiram os valores máximos próximo do estágio E3 (177 DAS), estabilizando-se nessa fase. Em seguida, na fase final IV, a partir do estágio E4, observou-se acentuado decréscimo de NFA e NFP, até o final do ciclo (E5). Cabe destacar, além do comportamento semelhante entre as curvas de NFA e NFP, a redução progressiva da diferença entre elas de, aproximadamente, 43%, 16%, 7%, 5% e 0%, nos respectivos estádios E1, E2, E3, E4 e E5, expressando, portanto, para os estádios iniciais, uma elevada atividade meristemática apical convertida em folhas jovens e, para os estádios consecutivos finais da cultura, uma redução dessa atividade, com diferença quase que nula na fase IV, estádios E4 e E5 (Figura 27).

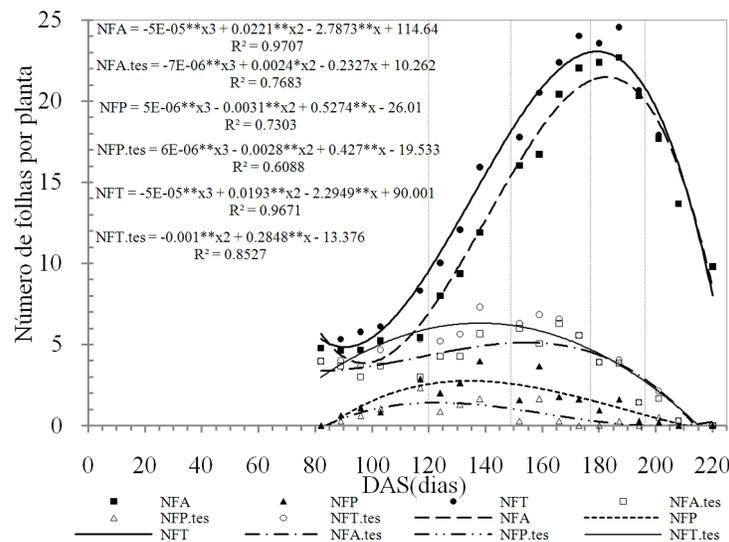


FIGURA 27 Curvas ajustadas aos valores médios do número de folhas anterior (NFA) e posterior (NFP) à marcação e total por planta (NFT), e respectivas medidas da testemunha (NFA.tes, NFP.tes e NFT.tes) ao longo do ciclo, em dias após a semeadura (DAS). Os símbolos \* e \*\* correspondem às significâncias dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 5% e a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Os valores de NFT, em termos médios, estimados nos respectivos estádios E0, E1, E2, E3, E4 e E5, foram de 5, 10, 19, 24, 22 e 8 folhas-planta<sup>-1</sup>, sendo esses valores reduzidos para a testemunha com NFT máximo, aos 140 DAS, de 6 folhas-planta<sup>-1</sup> (Figura 27). As curvas de ajuste dos valores médios do número total de folhas NFT, ao longo do ciclo, desdobrados por lâminas (T:A) e épocas (T:E), tiveram bons ajustes, com R<sup>2</sup> de 95% e 99%, significativos a 1% de probabilidade, segundo o modelo de 3º grau (Tabelas 12A e 13A), com expressivos maiores valores para a curva de cultivos A4 e E5, e os menores, durante todo o ciclo, para a testemunha (NPR.tes) (Figura 28).

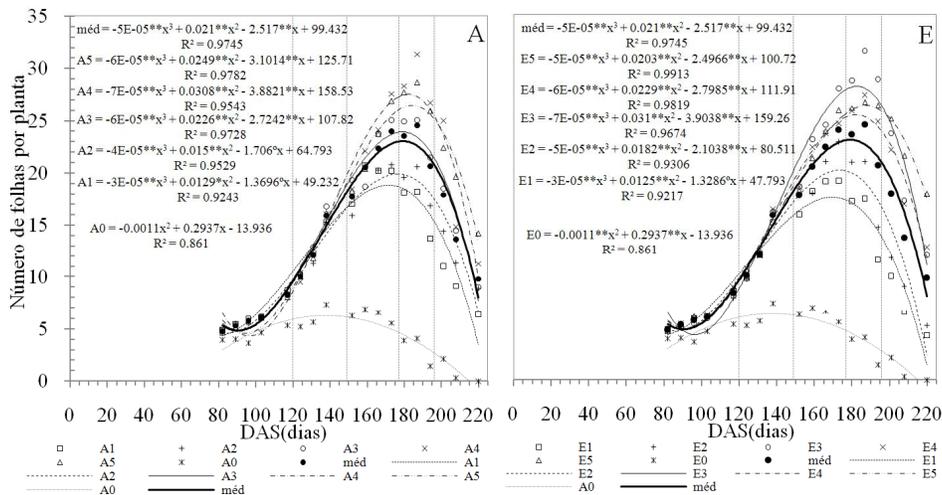


FIGURA 28 Curvas ajustadas aos valores médios do número total de folhas por planta, obtidas com os desdobramentos das lâminas de água A0, A1, A2, A3, A4 e A5 (A) e épocas de suspensão da irrigação E0, E1, E2, E3, E4 e E5 (E), ao longo do ciclo, em dias após a semeadura (DAS). Os símbolos °, \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 10%, 5% e 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Com relação aos desdobramentos das épocas E1, E2, E3, E4 e E5 ao longo do tempo, as respectivas curvas de NFT (E) diferiram entre si significativamente e tiveram maiores valores máximos próximos do estágio E3 de 18, 20, 28, 25, 26 folhas-planta<sup>-1</sup>, com o aumento das épocas de suspensão da irrigação, apresentando o maior NFT máximo à época de suspensão E3, seguida da época E5 (Figura 28, E). Já com relação ao número total de folhas NFT em função das lâminas (A) ao longo do tempo, o maior valor máximo estimado de 27 folhas-planta<sup>-1</sup> foi atingido para a lâmina A4 no estágio E3, que foi ligeiramente superior ao valor máximo de 26 folhas-planta<sup>-1</sup>, obtido com a lâmina A5, seguido de 24, 20 e 19 folhas-planta<sup>-1</sup>, obtidos com as lâminas A3, A2 e A1, respectivamente, nesse estágio (Figura 28, A). Esse comportamento com as maiores e excessivas lâminas de irrigação A4 e A5 suspensa em épocas tardias (E5), assim como o número de ramificações laterais (NRP), é, possivelmente, mais um indicativo do maior investimento fisiológico da planta na parte vegetativa, comparativamente à produção, no aproveitamento dos fotoassimilados.

#### **4.3.3 Índice de área foliar e fração de cobertura do solo**

Conforme a análise de variância (Tabela 10A), observou-se que os fatores lâminas (A) e época de suspensão da irrigação (E) agiram de modo independente em relação à variação do índice de área foliar (IAF) e fração de cobertura (fc), sendo, todavia, afetados significativamente tanto pelas lâminas (A) quanto pelas épocas (E). Essas características também variaram significativamente ao longo do ciclo da cultura (T), observando-se interação significativa com as épocas (ExT) e as lâminas (AxT). Os valores de fc obtidos conforme Rios et al. (2011a) e IAF estimado segundo metodologia aqui posposta, em termos médios, quando submetidos à análise de regressão (Tabela

11A), tanto em função das lâminas (A) quanto em função das épocas (E), indicaram um ajuste linear simples, a 1% de significância, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) entre 87% e 96%. Os valores de IAF indicaram também ajuste cúbico em relação às lâminas (A), significativo a 30% de probabilidade e  $R^2$  de 99,9%, com ponto de inflexão na lâmina de referência A3. Dessa forma, foram observados incrementos crescentes com lâminas menores que A3 e, a partir dessa lâmina, para maiores lâminas excedentes à capacidade de campo, os incrementos se deram de forma decrescente, até atingir o máximo IAF com a maior lâmina A5. Esse comportamento indica que a lâmina de referência (A3), possivelmente, é uma condição de transição entre o crescimento e o decrescimento vegetativo de IAF (Figura 29).

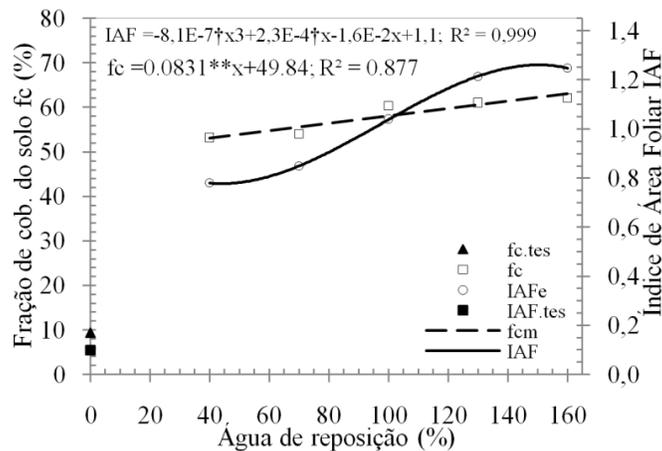


FIGURA 29 Médias da fração de cobertura do solo (fc), índice de área foliar estimado (IAF) e respectivas medidas da testemunha (tes), em função das lâminas de água de reposição pela irrigação (A). Os símbolos † e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes, pelo teste t, a 30% e a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Conforme gráfico da Figura 29, observou-se que, em termos médios, a fração de cobertura fc, obtida conforme Rios et al. (2011a), teve um crescimento

linear com as maiores lâminas (A), à taxa de 0,083%/%, tendo o menor valor de fc sido observado na testemunha.

Os índices IAF ao longo do ciclo da cultura, em termos médios (Figura 30), tiveram comportamento semelhante aos valores médios da fração de cobertura do solo (fc), com alta correlação, principalmente nas fases I e II, e moderada após a fase III, com redução mais acentuada da curva de IAF em relação à curva de fc na fase de senescência, fase IV. Para a testemunha foi observada uma maior correlação entre IAF e fc (IAFe.tes e fc.tes), durante todo o ciclo.

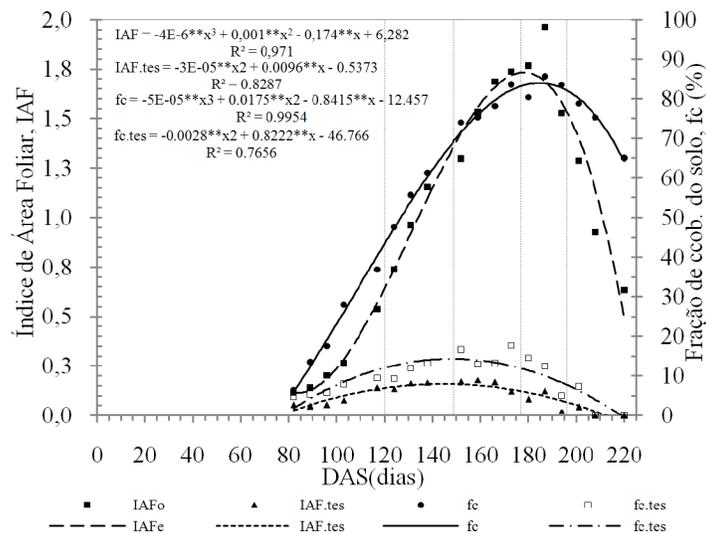


FIGURA 30 Curvas ajustadas aos valores médios de fração de cobertura do solo (fc) e índice de área foliar (IAF) e respectivas curvas para a testemunha (tes), ao longo do ciclo, em dias após a semeadura (DAS). O símbolo \*\* corresponde à significância dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

As frações de cobertura fc média para os estádios E0, E1, E2, E3, E4 e E5 foram, respectivamente, de 10%, 43%, 70%, 85%, 80% e 65%, sendo

máxima de 85% aos 180 DAS, no estágio de maturação primária (E3), indicando que, para atingir fc de 100% de cobertura da área útil, a população de 11.111,1 plantas ha<sup>-1</sup> sob espaçamento de 1,2 x 0,75 m poderia ter sua produtividade aumentada com o aumento dessa população de plantas em até 17,65% e/ou redução do espaçamento para 1,0 x 0,75cm. As curvas de ajuste dos valores médios do índice de área foliar (IAF) e fração de cobertura (fc) ao longo do ciclo, desdobrados por lâminas (T:A) e épocas (T:E), tiveram bons ajustes por todos os modelos testados, sendo significativos a 1% de probabilidade e os maiores R<sup>2</sup> entre 90% e 99%, segundo o modelo de 3º grau (Tabelas 12A e 13A), com expressivos maiores valores para as curvas de cultivos A4 e A5, e os menores, durante todo o ciclo, para a testemunha (NPR.tes) (Figura 31).

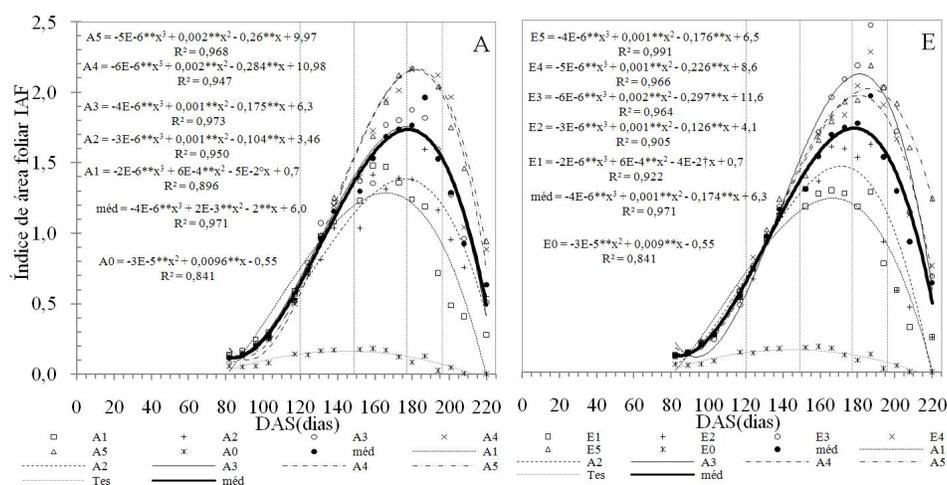


FIGURA 31 Curvas ajustadas aos valores médios do índice de área foliar estimado (IAF), obtidas com o desdobramento das lâminas de água A0, A1, A2, A3, A4 e A5 (A) e épocas de suspensão da irrigação E0, E1, E2, E3, E4 e E5 (E), ao longo do ciclo em dias, após a semeadura (DAS). O símbolo \*\* corresponde à significância dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Nos estádios E<sub>0</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub> do tratamento referência (A<sub>3</sub>E<sub>5</sub>), respectivamente, aos 86, 120, 149, 177, 196 e 220 DAS, os valores médios de IAF obtidos pela metodologia com o uso do equipamento fotográfico em amostras destrutivas (IAF<sub>afe</sub>) foram de 0,10; 0,61; 1,40; 1,85; 1,72 e 0,81. Já os obtidos pelo método não destrutivo, com o uso de régua graduada e modelo matemático IAF (IAF<sub>mec</sub>), foram de 0,10; 0,64; 1,36; 1,70; 1,47 e 0,35, nos respectivos estádios E<sub>0</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub>, semelhantes aos obtidos pela média geral entre todos os tratamentos fatoriais (Figuras 30 e 31, A).

Conforme se observa na Figura 31a, até cerca de 10 dias antes do estádio E<sub>2</sub>, os valores médio do IAF não diferiram com as lâminas (A), à exceção da testemunha (A<sub>0</sub>). A partir daí, tiveram maiores incrementos de área foliar segundo o aumento das lâminas A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub> e A<sub>5</sub>, atingindo, aos 140, 165, 177, 180 e 185 DAS, os valores máximos de 0,15; 1,20; 1,30; 1,70; 2,00 e 2,05 e mínimos, ao final do ciclo (E<sub>5</sub>), de 0,0; 0,10; 0,25; 0,35; 0,45 e 0,65, respectivamente. Comportamento semelhante ocorreu com relação às épocas de suspensão da irrigação E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub> os IAF, porém, com destaque para o maior IAF máximo, obtido no estádio E<sub>3</sub>, com a época E<sub>3</sub> (Figura 31E). Cabe ressaltar o comportamento semelhante do IAF e do número total de folhas ao longo do ciclo, em função das lâminas (A) ou épocas de suspensão da irrigação (E), e o IAF máximo igual a 2 no estádio E<sub>3</sub> corresponde a 69% do IAF da cultura de referência da E<sub>T0</sub> (IAF = 2,88), conforme Allen et al. (1998).

As curvas de desdobramentos da fração de cobertura do solo  $f_c$  (Figura 32), ao longo do ciclo para cada lâmina (A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub> e A<sub>5</sub>) e época de suspensão da irrigação (E<sub>0</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub>), tiveram bons ajustes pelos modelos testados (Tabelas 12A e 13A), com melhor ajuste cúbico aos dados médios. De forma semelhante ao comportamento do IAF e do NFT, as curvas de  $f_c$  em todos os cultivos tiveram, à exceção da testemunha (A<sub>0</sub> ou E<sub>0</sub>), aumento

com valores muito próximos até o início da fase III no estágio E2. A partir desse estágio, com o aumento da disponibilidade hídrica dos fatores, seja pelo fator volumétrico das lâminas,  $A_i$ , seja pelo fator temporal das épocas de suspensão da irrigação,  $E_i$ , as curvas de  $f_c$  foram diferenciadas com decréscimos até os maiores valores máximos de 71%, 75%, 81%, 86% e 89%, ocorridos entre os estádios E3 e E4 e os mínimos de 50%, 60%, 65%, 70% e 78%, ao final do ciclo (E5), para A1, A2, A3, A4 e A5, respectivamente.

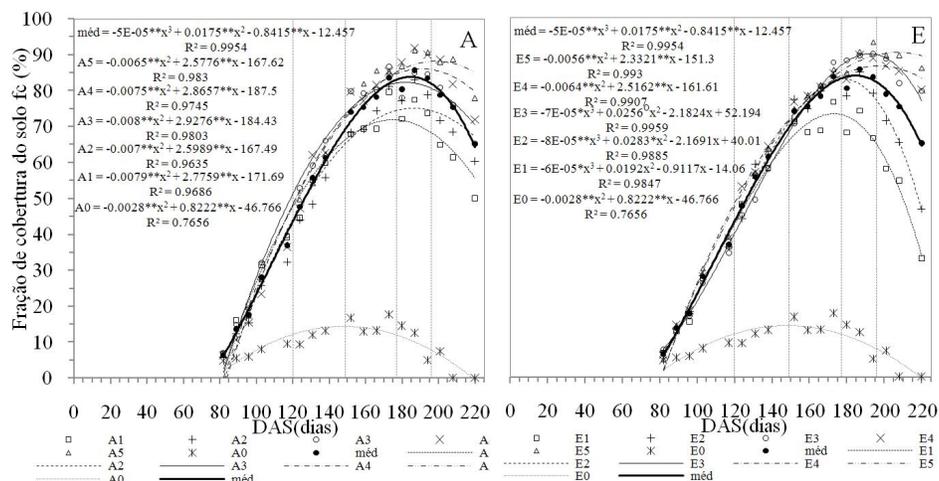


FIGURA 32 Gráfico (A) de curvas ajustadas aos valores médios da fração de cobertura do solo ( $f_c$ ) obtida com as lâminas de água A0, A1, A2, A3, A4 e A5 e gráfico (E) obtido com as épocas de suspensão da irrigação E0, E1, E2, E3, E4 e E5, ao longo do ciclo, em dias após a semeadura (DAS). Os símbolos  $^{\circ}$ ,  $*$  e  $**$  correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 10%, 5% e 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Ressalta-se que, após o estágio E2, ainda que de forma decrescente, a parte vegetativa da cultura expressa pelo número de folhas (NFT), índice de área foliar (IAF) ou fração de cobertura ( $f_c$ ) foi mais pronunciada, permanecendo mais vigorosa por mais tempo, com o aumento das lâminas de água ( $A_i$ ) e/ou

das épocas de suspensão da irrigação (Ei) dos cultivos. Cabe investigar se essa maior expressão da parte vegetativa ocorrida com os maiores níveis desses fatores A e/ou E converte-se diretamente em máxima produtividade da cultura.

#### **4.4 Variáveis componentes de produção dos tratamentos**

O resumo dos valores médios das componentes de produção por ordem de racemos primários (PRP), secundários (PRS), terciários (PRT) e total da cultura (PT); número de racemos primários (NRP), secundários (NRS), terciários (NRT), total por planta (NTR); porcentagem de grãos chochos por ordem primária (PXP), secundária (PXS), terciária (PXT) e total de grãos chochos (PTX) e teor de óleo dos grãos (TO) em função dos fatores lâmina (A) e época de suspensão da irrigação (E) encontram-se em anexo (Tabelas 19A, 20A e 21A), assim como tabelas de análises estatísticas (Tabelas 14A, 15A, 16A, 17A e 18A), sendo expostos, nesta seção, apenas os resultados na forma de gráficos (Figuras 33, 34, 35 e 36).

##### **4.4.1 Número de racemos e grãos chochos**

Na análise de variância observou-se que entre os fatores lâmina (A) e época (E) não existiu interação (Ax E) para nenhuma das variáveis anteriormente especificadas, NRP, NRS, NRT e NTR; PXP, PXS, PXT e PTX. Entretanto, independentemente, lâminas A e épocas E afetaram significativamente o número de racemos total por planta (NTR) (Tabela 15<sup>a</sup>).

Os valores médios das componentes de produção número de racemos por ordem e planta (NRP, NRS, NRT e NTR), quando submetidos à análise de regressão (Figura 33), tanto com o aumento dos níveis do fator A quanto dos níveis do fator E, indicaram efeito linear positivo do número de racemos total e de todas as ordens (exceto a primária, NRP).

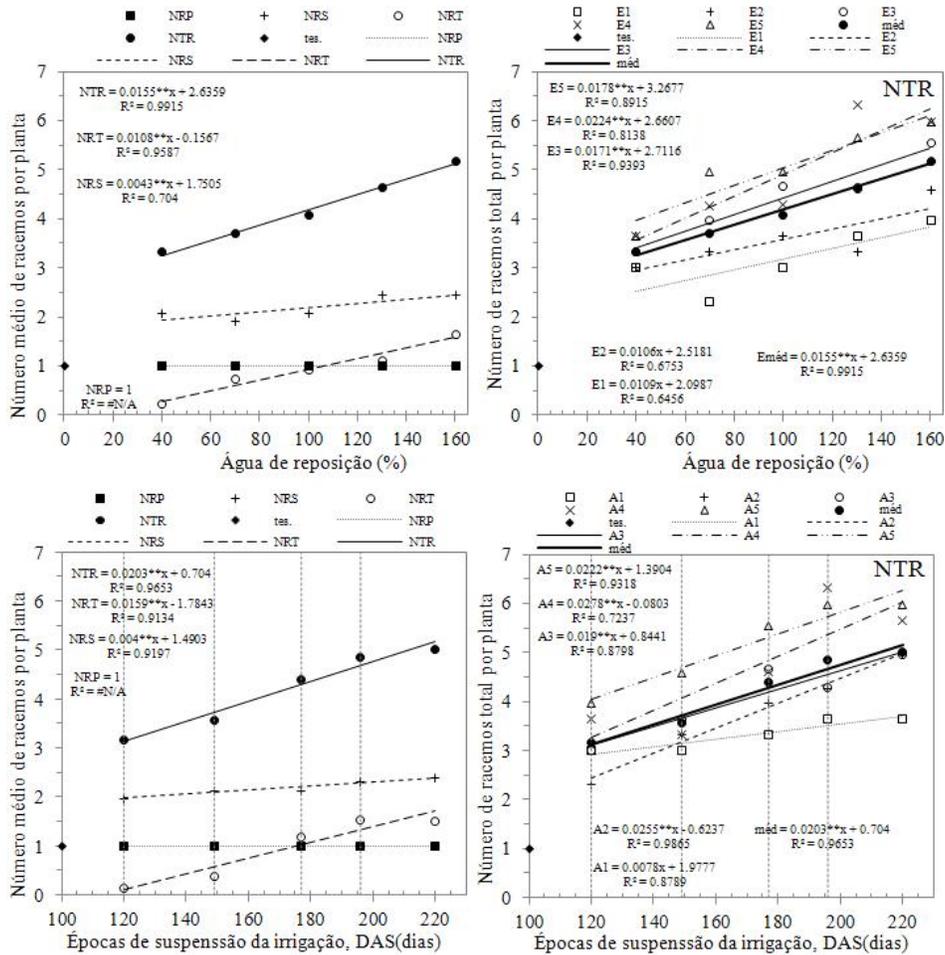


FIGURA 33 Número de racemos primário (NRP), secundários (NRS), terciários (NRT), total por planta (NTR) médios em função das lâminas de água A0, A1, A2, A3, A4 e A5 (gráficos acima) e épocas de suspensão da irrigação E0, E1, E2, E3, E4 e E5 (gráficos acima) e seus respectivos desdobramentos para NTR (gráficos da direita). O símbolo \*\* corresponde à significância do coeficiente de ajuste pelo teste t, a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Com relação ao efeito médio do fator lâmina (A) sobre o número de racemos NRS, NRT e total NTR (Figura 33), observou-se um aumento linear crescente com o aumento das lâminas (A), às taxas de 0,004 (racemos-planta<sup>-1</sup>)/%, 0,011 (racemos-planta<sup>-1</sup>)/% e 0,015 (racemos-planta<sup>-1</sup>)/%, respectivamente, com destaque para a maior resposta da ordem terciária (0,011) ao aumento das lâminas (A) em relação às demais ordens.

Já para o número total de racemos (NTR) com desdobramentos (Tabela 15A, Figura 33) das lâminas dentro de cada época (A:E1, A:E2, A:E3, A:E4 e A:E5), observaram-se, para NTR, os maiores valores (6 racemos-planta<sup>-1</sup>), obtidos com a maior lâmina (A5) e respostas (às taxas de 0,022 e 0,018) nos desdobramentos das lâminas com suspensão da irrigação nas épocas E4 e E5 (A:E4 e A:E5). Por outro lado, de forma semelhante, o efeito médio do fator época (E) sobre NRS, NRT e total NTR (Figura 33) teve aumento linear crescente com o aumento das épocas (E), às taxas de 0,004, 0,016 e 0,020 (racemos-planta<sup>-1</sup>)/dia, respectivamente, destacando-se a maior taxa de resposta dos racemos terciários (0,016) com o aumento das épocas (E) em relação às demais ordens. Para o número total NTR com desdobramentos (Figura 33) das épocas dentro de cada lâmina, observaram-se, para NTR, os maiores valores (6 racemos-planta<sup>-1</sup>), obtidos com a maior época aos 220 DAS (E5) e respostas (às taxas de 0,028 e 0,022) nos desdobramentos das épocas com as lâminas A4 e A5 (E:A4 e E:A5).

O resumo dos valores médios e tabelas de análises estatísticas das componentes de produção da proporção de grãos chochos por racemo primário (PXP), secundário (PXS) e terciário (PXT) e total (PTX), em relação ao número total produzido em função dos fatores lâmina (A) e época de suspensão da irrigação (E), encontra-se em anexo, Tabela 20A. Na Tabela 15A observa-se que a interação (AxE) foi não significativa para a variável PTX, sendo apenas com

relação à testemunha (Fat xTes). Com relação à proporção percentual de grãos chochos por ordem de recamos observou-se para o efeito médio do fator lâmina (A) sobre PXP e PXS, redução linear com o aumento das lâminas (A) à taxa de -0,011 e -0,068 e sobre PXT e total PTX, um aumento quadrático, apresentando, para PXP, PXS, PXT e PTX, os valores médios estimados de 3%, 12%, 14% e 11% de grãos chochos à lâmina de A3, respectivamente (Figuras 34 e 35).

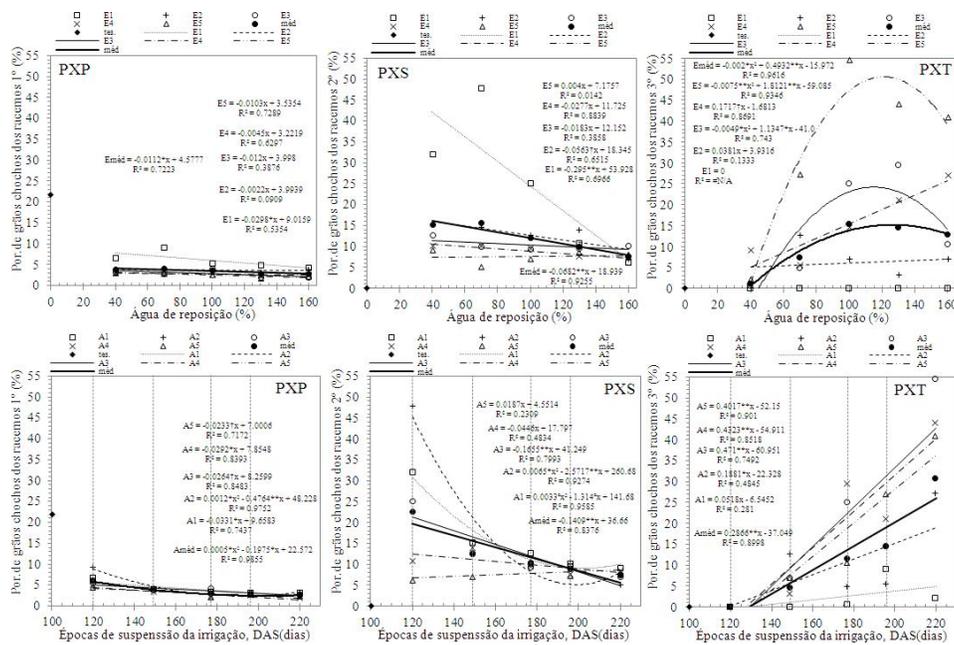


FIGURA 34 Porcentagem de grãos chochos primários (PXP), secundários (PXS), terciários (PXT) e da testemunha (tes), em função das lâminas (A) dentro das épocas de suspensão da irrigação E1, E2, E3, E4, E5 e médio (Eméd), e PXP, PXS, PXT e tes (gráficos abaixo), em função das épocas de suspensão da irrigação, em dias após a semeadura (E), dentro das lâminas A1, A2, A3, A4, A5 e médio (Améd). Os símbolos †, °, \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 20%, 10%, 5% e 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

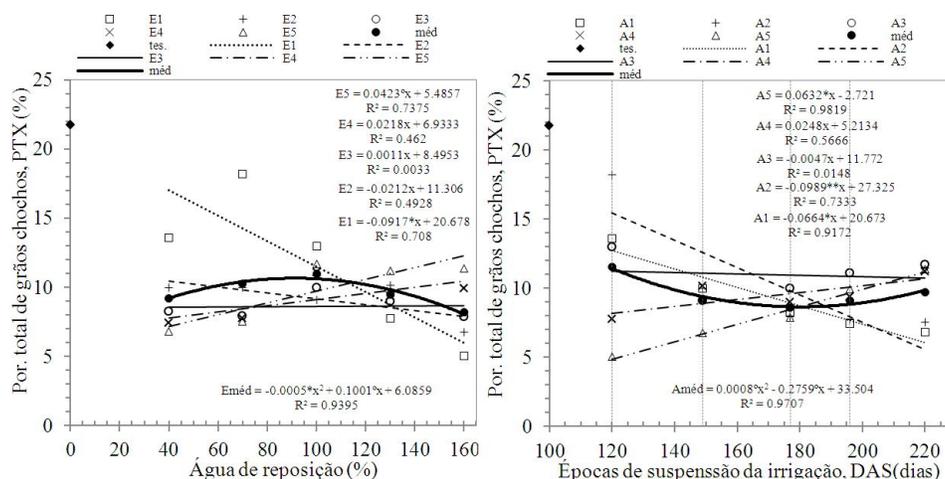


FIGURA 35 Porcentagem de grãos chochos total por planta (PTX) e da testemunha (tes), em função das lâminas de água (A) dentro das épocas de suspensão da irrigação E1, E2, E3, E4, E5 e médio (Eméd), e função das épocas de suspensão da irrigação, em dias após a semeadura (E), dentro das lâminas de água A1, A2, A3, A4, A5 e médio (Améd). Os símbolos °, \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes pelo teste t, a 10%, 5% e 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Com relação ao efeito médio do fator época (E) sobre PXP, observou-se redução linear (à taxa de -0,033, portanto, com uma redução mais expressiva para esse fator) ou quadrática com o aumento das épocas (E), observando-se o maior valor estimado de 6% para a época E1, aos 120 DAS, e um mínimo de 2,5% para a época E3, aos 177 DAS (Figura 34).

Entretanto, para a ordem terciária (PXT), observou-se aumento médio linear de PXT com o aumento das épocas (E) à taxa de 0,287, sendo o maior valor estimado de 26% com a época E5 do final do ciclo aos 220 DAS (Figura 34). No desdobramento da interação significativa (Ax E) para PXS, os efeitos simples de regressão das épocas dentro de cada lâmina (E:A1, E:A2, E:A3, E:A4

e E:A5) sobre PXS foram significativos apenas para as lâminas A1, A2 e A3, observando-se redução de PXS com o aumento das épocas (E), segundo uma redução quadrática, a 10% de probabilidade, para as lâminas A1 e A2 e segundo uma redução linear, a 1% de probabilidade, à taxa de -0,165 para a lâmina A3 (Figura 34). No entanto, para o efeito médio do fator época (E) sobre a porcentagem total de chochos (PTX) foi observada redução quadrática de PTX com o aumento das épocas (E), com valor estimado de 11,5% com a época E1 aos 120 DAS e o mínimo de 9% com a época E3 aos 177 DAS (Figura 35). Cabe destacar que, para os cultivos irrigados, em média, 11% da produtividade total de grãos foram perdidos com a produção de grãos chochos (PTX) e, para o cultivo sem irrigação (testemunha), essa perda foi o dobro (22%) da produção (Figura 35).

#### **4.4.2 Produtividades de grãos particionada e teor de óleo**

Os valores médios da produtividade de grãos, por ordem de racemos primários (PRP), secundários (PRS), terciários (PRT), primária e secundária (PRP.S), total da cultura (PT), teor de óleo (TO), são apresentados nas Tabelas 19A e 21A. Os resultados da análise de variância dessas variáveis revelaram não existir interação significativa entre os fatores lâmina de água (A) e época de suspensão da irrigação (E), indicando, portanto, que não existe nenhum antagonismo ou sinergismo entre eles. Contudo, variaram significativamente em função das lâminas de água (A) ou das épocas de suspensão da irrigação (E), à exceção de TU, TO e PRP.

Com relação ao efeito médio do fator A sobre as produtividades PRP e PRT, observou-se que ambas aumentaram linearmente com o aumento das lâminas de irrigação, sendo a ordem terciária mais responsiva à maior disponibilidade de água do que a primária, às taxas de 1,25 e 2,48 kg ha<sup>-1</sup> / %.

Em média, as lâminas de 40%, 70%, 100%, 130% e 160% estimaram PRP de 889 kg ha<sup>-1</sup>, 927 kg ha<sup>-1</sup>, 964 kg ha<sup>-1</sup>, 1.001 kg ha<sup>-1</sup> e 1.039 kg ha<sup>-1</sup> e PRT de 0 kg ha<sup>-1</sup>, 14 kg ha<sup>-1</sup>, 28 kg ha<sup>-1</sup>, 42 kg ha<sup>-1</sup> e 56 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 36).

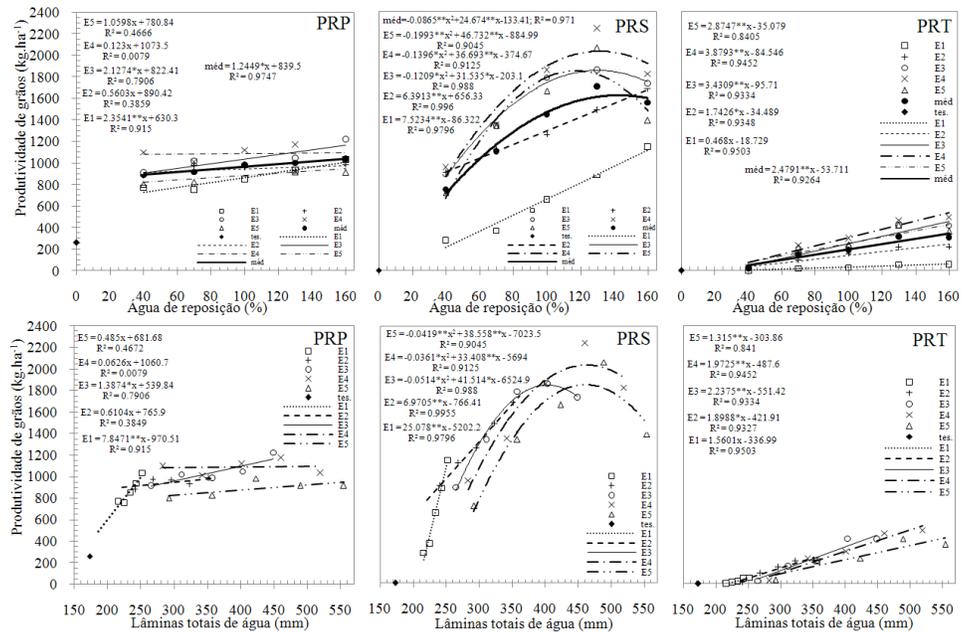


FIGURA 36 Valores médios da produtividade de grãos a 10%Ubu, por ordem primária (PRP), secundária (PRS) e terciária (PRT) e da testemunha (tes), em função das lâminas de água, em porcentagem (A) e, em função das lâminas totais de água, em milímetros (A), dentro das épocas de suspensão da irrigação E1, E2, E3, E4, E5 e médio (Eméd). Os símbolos \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes, pelo teste t, a 5% e a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Cabe ainda destacar a tendência observada no gráfico (Figura 36) de estimativa da PRP para a lâmina de 157 mm, próxima da média obtida (259 kg ha<sup>-1</sup>) com o cultivo de sequeiro (173 mm). Para o efeito médio para as produtividades PRS, PRPS e PT, além do efeito linear a taxas de 7,38 kg ha<sup>-1</sup>/%,

8,63 kg ha<sup>-1</sup>/% e 11,10 kg ha<sup>-1</sup>/%, observou-se um aumento quadrático decrescente com o aumento das lâminas (A), sendo os menores valores estimados obtidos na lâmina de 40% (715, 1.602 e 1.623 kg ha<sup>-1</sup>) e os maiores, na lâmina de A5 (1.600, 2.637 e 2.956 kg ha<sup>-1</sup>) (Figuras 36 e 37).

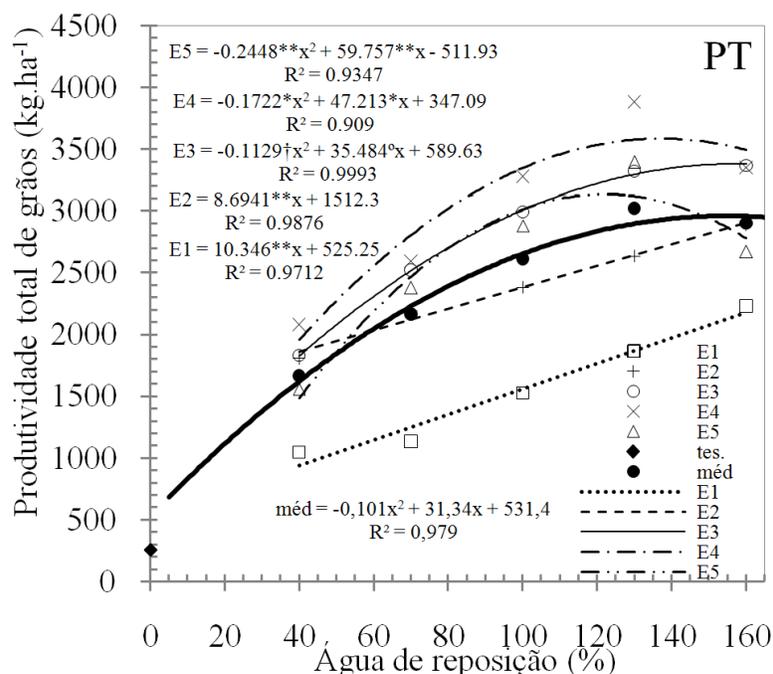


FIGURA 37 Produtividade total de grãos da cultura a 10%Ubu (PT) e da testemunha (tes), em função das lâminas de água, em porcentagem (A), dentro das épocas E1, E2, E3, E4, E5 e efeito médio (Eméd). Os símbolos †, °, \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes, pelo teste t, a 20%, 10%, 5% e 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Com relação aos desdobramentos dos níveis do fator A dentro de cada E, observou-se, para a PRP, efeito linear positivo com o aumento das lâminas somente dentro das épocas E1 e E3 (A:E1 e A:E3), às taxas significativas de 2,35 kg ha<sup>-1</sup>/% e 2,13 kg ha<sup>-1</sup>/% (Figura 36).

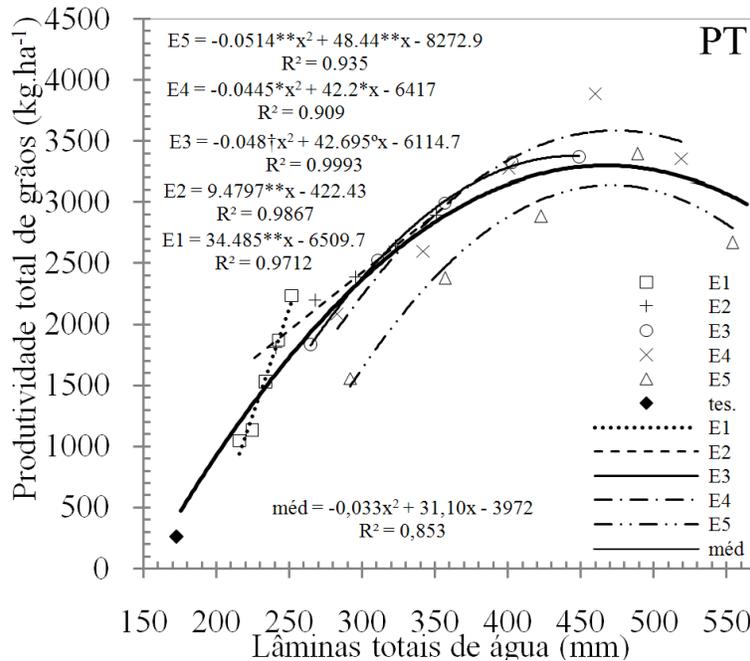


FIGURA 38 Produtividade total de grãos da cultura a 10%Ubu (PT) e da testemunha (tes), em função das lâminas totais de água, em milímetros (A), dentro das épocas E1, E2, E3, E4, E5 e médio (Eméd). Os símbolos †, °, \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes, pelo teste t, a 20%, 10%, 5% e 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Ressalta-se que, no desdobramento A:E1 do fator A (40%, 70%, 100%, 130% e 160%), foram obtidos os menores valores estimados de PRP (721 kg ha<sup>-1</sup>, 795 kg ha<sup>-1</sup>, 866 kg ha<sup>-1</sup>, 936 kg ha<sup>-1</sup> e 1.007 kg ha<sup>-1</sup>) e, no desdobramento A:E3, os maiores de (908 kg ha<sup>-1</sup>, 971 kg ha<sup>-1</sup>, 1.035 kg ha<sup>-1</sup>, 1.039 kg ha<sup>-1</sup> e 1.163 kg ha<sup>-1</sup>), destacando-se que, com maior aplicação de água até a maturação primária (A5E3), a PRP estimada foi 1,61 vez maior (1.163 kg ha<sup>-1</sup>) que a obtida (721 kg ha<sup>-1</sup>) com menor aplicação de água até a antese primária (A1E1), e 4,49 vezes a obtida com a produção de sequeiro (259 kg ha<sup>-1</sup>).

Para a PRT, observou-se o efeito linear crescente em todos os desdobramentos do fator A dentro de cada nível do fator E e, com as maiores lâminas aplicadas para todos os desdobramentos A:E1; A:E2; A:E3; A:E4 e A:E5, observaram-se as maiores PRT para a maior lâmina, de 160% (56 kg ha<sup>-1</sup>, 244 kg ha<sup>-1</sup>, 453 kg ha<sup>-1</sup>, 536 kg ha<sup>-1</sup> e 425 kg ha<sup>-1</sup>), à semelhança da PRP, entretanto, com destaque para os maiores valores de PRT (70 kg ha<sup>-1</sup>, 187 kg ha<sup>-1</sup>, 303 kg ha<sup>-1</sup>, 419 kg ha<sup>-1</sup> e 536 kg ha<sup>-1</sup>), à taxa de 3,88 kg ha<sup>-1</sup>/%, obtidos no desdobramento A:E4, com o aumento das lâminas. O maior valor da PRT foi estimado no tratamento A5E4 (536 kg ha<sup>-1</sup>), sendo 26% superior à PRT (425 kg ha<sup>-1</sup>) estimada com o manejo dessa mesma lâmina de 160%, até a suspensão da irrigação ao final do ciclo (A5E5) (Figura 36).

Para as produtividades PRS e PT, além do efeito médio linear a taxas de 7,38 e 11,10 kg ha<sup>-1</sup>/%, sendo os menores valores estimados à lâmina de 40% (715 e 1.623 kg ha<sup>-1</sup>) e os maiores à lâmina A5 (1.600 e 2.956 kg ha<sup>-1</sup>), observou-se, para essas produtividades, um aumento quadrático decrescente com o aumento das lâminas de água (Figuras 36 e 37).

Com relação às produtividades PRS e PT, observaram-se, para todos os desdobramentos A:E1; A:E2; A:E3; A:E4 e A:E5, um efeito linear crescente, além de um efeito quadrático decrescente com o aumento das lâminas de água (A) apenas para os desdobramentos A:E3, A:E4 e A:E5, ressaltando-se que, para a PT do desdobramento A:E3, os coeficientes quadrático e linear do modelo foram significativos a 15% e a 5% e, nos demais desdobramentos, a, pelo menos, 5%. Comparando-se os desdobramentos de efeito linear apenas (A:E1 e A:E2), foram observados os maiores valores estimados de produtividade PRS e PT com o aumento das lâminas para a suspensão da irrigação após o estágio de antese secundária (A:E2). Para esse desdobramento (A:E2), as PRS estimadas com o aumento das respectivas lâminas foram de 912 kg ha<sup>-1</sup>, 1.104 kg ha<sup>-1</sup>,

1.295 kg ha<sup>-1</sup>, 1.487 kg ha<sup>-1</sup> e 1.679 kg ha<sup>-1</sup> (à taxa de 6,39 kg ha<sup>-1</sup>/%) e, do mesmo modo, as PT foram de 1.860 kg ha<sup>-1</sup>, 2.121 kg ha<sup>-1</sup>, 2.382 kg ha<sup>-1</sup>, 2.643 kg ha<sup>-1</sup> e 2.903 kg ha<sup>-1</sup> (à taxa de 8,69 kg ha<sup>-1</sup>/%), sendo estas últimas cerca de 98%, 70%, 53%, 41% e 33% maiores que as estimadas para essas lâminas no desdobramento de suspensão da irrigação na antese primária (A:E1), respectivamente (Figuras 36 e 37).

Já, quando comparados entre si apenas os desdobramentos de efeito quadrático das lâminas A:E3, A:E4 e A:E5 para as produtividades PRS e PT, foram observados os maiores valores estimados com o aumento das lâminas com a suspensão da irrigação após o estágio de maturação secundária (A:E4), seguido dos respectivos valores para os desdobramentos A:E3 e A:E5, nessa ordem (Figuras 36, 37 e 38). Com relação à produtividade PRS estimada para o desdobramento A:E4, os maiores valores estimados com o aumento das lâminas (40%, 70%, 100%, 130% e 160% A3) foram de 870 kg ha<sup>-1</sup>, 1.510 kg ha<sup>-1</sup>, 1.899 kg ha<sup>-1</sup>, 2.036 kg ha<sup>-1</sup> e 1.922 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 36); seguidas do mesmo modo para o desdobramento A:E3, com as PRS estimadas de 865 kg ha<sup>-1</sup>, 1.412 kg ha<sup>-1</sup>, 1.741 kg ha<sup>-1</sup>, 1.852 kg ha<sup>-1</sup> e 1.748 kg ha<sup>-1</sup>. Por sua vez, para o desdobramento A:E5, com as PRS estimadas de 665 kg ha<sup>-1</sup>, 1.410 kg ha<sup>-1</sup>, 1.795 kg ha<sup>-1</sup>, 1.822 kg ha<sup>-1</sup> e 1.490 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, à exceção da menor PRS estimada do tratamento A3E3 (1.741 kg ha<sup>-1</sup>) em relação à do A3E5 (1.795 kg ha<sup>-1</sup>) que, certamente, foi favorecida pelo maior período de irrigação. Já com relação à produtividade total PT estimada para o desdobramento A:E4, os maiores valores estimados com o aumento das lâminas de 283 mm, 342 mm, 401 mm, 460 mm e 519 mm (40%, 70%, 100%, 130% e 160% A3, respectivamente) foram de 1.960 kg ha<sup>-1</sup>, 2.808 kg ha<sup>-1</sup>, 3.346 kg ha<sup>-1</sup>, 3.575 kg ha<sup>-1</sup> e 3.493 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 38). Do mesmo modo, para o desdobramento A:E3, com o aumento das lâminas (265 mm, 311 mm, 357 mm, 403 mm e 449 mm) as PT estimadas foram de 1.828 kg

ha<sup>-1</sup>, 2.520 kg ha<sup>-1</sup>, 3.009 kg ha<sup>-1</sup>, 3.295 kg ha<sup>-1</sup> e 3.377 kg ha<sup>-1</sup> e, por sua vez, para o desdobramento A:E5, com o aumento das lâminas (292 mm, 357 mm, 423 mm, 489 mm e 554 mm), as PT estimadas foram de 1.487 kg ha<sup>-1</sup>, 2.472 kg ha<sup>-1</sup>, 3.016 kg ha<sup>-1</sup>, 3.119 kg ha<sup>-1</sup> e 2.782 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, à exceção da menor PT estimada do tratamento A3E3(3.009 kg ha<sup>-1</sup>) em relação à do A3E5(3.016 kg ha<sup>-1</sup>) que, certamente, foi favorecida pelo maior período de irrigação.

Com essas produtividades estimadas nos desdobramentos A:E1, A:E2, A:E3, A:E4 e A:E5, destacaram-se os grandes incrementos lineares de produtividade total (PT) com o aumento das lâminas de água aplicadas até a antese secundária (A:E2) e a expressiva resposta e maior contribuição das duas primeiras ordens (PRP e PRS) com maior lâmina aplicada até esse estágio A5E2 (351mm) atingindo cerca de 96% (PRP + PRS de 2.659 kg ha<sup>-1</sup>) da PT (2.782 kg ha<sup>-1</sup>) obtida com essa lâmina aplicada durante todo o ciclo (A5E5 ou 554 mm), conforme Figura 37. Já para as suspensões da irrigação após os estádios de maturação de cada ordem de racemos (E3, E4 e E5), observaram-se as maiores produtividades total (PT) com as maiores lâminas de irrigação (Figura 37) próxima da capacidade de campo (130%A3) e expressivas resposta e contribuição das duas últimas ordens de racemos (Figura 36), particularmente a secundária (PRS) (Figura 36). Contudo, para as maiores reposições hídricas (A4 e A5) combinadas aos maiores períodos de irrigação para além do estágio de maturação secundária (E4 e E5), assim como para as menores reposições (A0, A1 e A2) combinadas às menores épocas de suspensão da irrigação para aquém do estágio de antese secundária (E0, E1 e E2), observou-se redução da eficiência de uso da água (EUA) e de produtividade total (PT), ressaltando-se as maiores EUA, de 8,43 kg ha<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup> e 8,34 kg ha<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup> (ou 843 gm<sup>-3</sup> e 834 gm<sup>-3</sup>) à produtividade total PT de 3.009 kg ha<sup>-1</sup> e 3.346 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, obtidas

com as lâminas de 357 mm e 401 mm, para a manutenção da umidade do solo na capacidade (A3) associada às suspensões da irrigação na maturação primária (A3E3) e secundária (A3E4).

Em vista disso, destaca-se como crítica a suspensão da disponibilidade hídrica no estágio de antese das inflorescências secundárias (E2), assim como a significativa perda de produtividade das duas primeiras ordens mais produtivas (PRP+PRS) com a maior restrição hídrica do solo (A0, A1 e A2). Isso pode ser constatado comparando-se as produtividades PRP+PRS de 259 kg ha<sup>-1</sup>, 939 kg ha<sup>-1</sup>, 1.235 kg ha<sup>-1</sup>, 1.825 kg ha<sup>-1</sup>, 2.033 kg ha<sup>-1</sup>, 1.532 kg ha<sup>-1</sup> e 2.242 kg ha<sup>-1</sup>, estimadas para os tratamentos de sequeiro A0E0 e fatoriais de maior restrição hídrica A1E1, A1E2, A2E1, A2E2, A3E1 e A3E2, respectivamente. Assim, para os tratamentos A3E2 e A0E0, diferenciados pela restrição hídrica temporal de 50 dias entre os estádios E0 e E2 e/ou lâmina complementar de 123 mm (A3-A0), observou-se que a produtividade de sequeiro (259 kg ha<sup>-1</sup>) foi superada em 8,66 vezes pela PRP+PRS estimada em A3E2 (2.242 kg ha<sup>-1</sup>), em 3,62 vezes pela PRP+PRS estimada no cultivo A1E1 (939 kg ha<sup>-1</sup>), diferenciado pelo estresse hídrico de 20 dias (E1-E0) e/ou da lâmina de 43 mm (A1-A0). Por sua vez, a produtividade de A1E1 foi superada, em 31%, pela PRP+PRS estimada no cultivo A1E2 (1.235 kg ha<sup>-1</sup>), diferenciado apenas pelo estresse hídrico de 30 dias (E2-E1) e/ou da lâmina de 25 mm (A1E2- A1E1).

Diante do exposto, ressalta-se a importância da maior disponibilidade hídrica no solo nos estádios iniciais (E0, E1 e E2), particularmente, garantida até o estágio de antese secundária (E2) e a significativa importância (91%PT) da produtividade das ordens primária e secundária frente à produtividade terciária (9%PT) que compõe a produção total da cultura (PT) apenas no estágio final do ciclo. Portanto, observa-se que, com o manejo da irrigação próxima da capacidade de campo (100%A3) e a suspensão no estágio de antese secundária

E2 (A3E2), pode ser obtida razoável PRP+PRS de 2.242 kg ha<sup>-1</sup>, consideradas a lâmina aplicada de 296 mm e a colheita antecipada para o estágio de maturação dos frutos secundários aos 196 DAS (E4), sob condições experimentais semelhantes. O teor de óleo (TO) estimado teve um aumento quadrático com o aumento das épocas de suspensão da irrigação nos estádios E1, E2, E3, E4 e E5, com valores de 41,8%, 43,5%, 43,9%, 43,5% e 42,1%, respectivamente, sendo o valor máximo de 43,9% obtido com a suspensão no estágio E3 superior em 5% e em 4% aos valores mínimos obtidos com a suspensão da irrigação nos estádios E1 e E5. Para o teor de água (TU), observou-se um efeito linear decrescente a uma taxa muito baixa, de -0,0024%Ubu.dia<sup>-1</sup> (Figura 39).

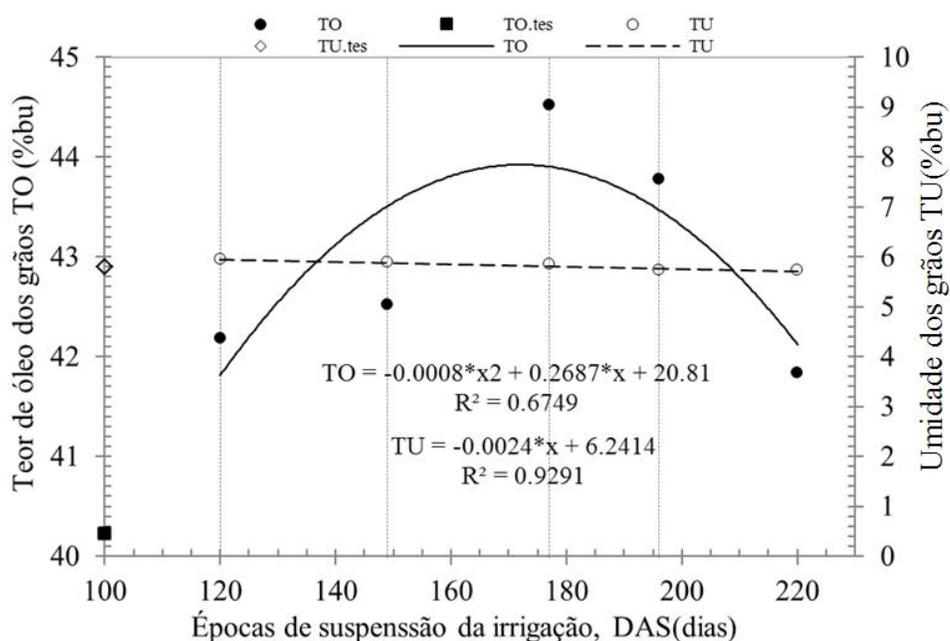


FIGURA 39 Valores médios da umidade (TU), teor de óleo dos grãos (TO) a 10%Ubu e da testemunha (TU. tes e TO. tes), em função das épocas de suspensão da irrigação, em dias após a semeadura (E). O símbolo \* corresponde à significância dos coeficientes de ajustes, pelo teste t, a 5% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Contudo, a máxima produtividade total PT estimada de 3.575 kg ha<sup>-1</sup>, com contribuição média de cerca de 37%, 54% e 9% PT, relativa à ordem primária (PRP), secundária (PRS) e terciária (PRT), conforme Figuras 36 e 40, foi obtida com a aplicação da lâmina de água de 460 mm para a manutenção da umidade do solo próxima da capacidade de campo (130%A3) e suspensão da irrigação após o estágio de maturação secundária (A4E4). Cabe ressaltar, conforme a Figura 40, a importância significativa de 91% da produtividade total (PT), relativa às duas primeiras ordens, primária (PRP) e secundária (PRS).

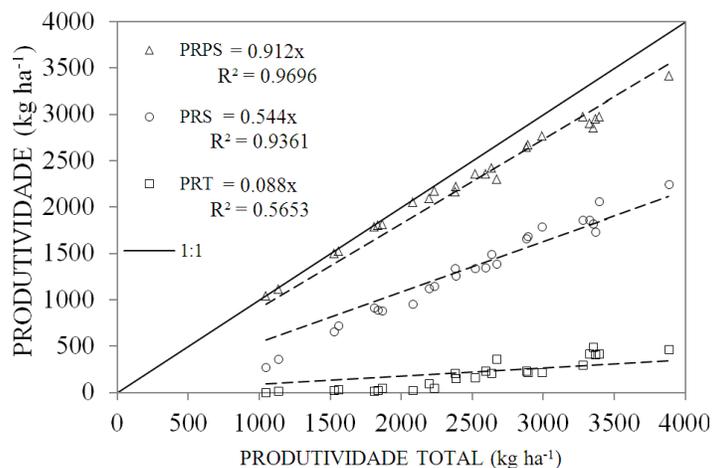


FIGURA 40 Valores médios observados de produtividade de grãos das ordens de racemos secundários (PRS), terciários (PRT) e primários e secundários (PRPS = PRP+PRS) confrontados com os observados da produtividade total de grãos da cultura Lavras, MG, 2011.

Com relação ao efeito médio do fator E sobre as produtividades PRP, PRS, PRT e PT, observou-se, para todas essas variáveis, um aumento quadrático decrescente com o aumento das épocas de suspensão da irrigação (E), além de um aumento linear crescente com esse aumento (E), à exceção da produtividade

PRP, sendo a ordem secundária (PRS) mais responsiva aos maiores períodos irrigados do que a terciária (PRT), a taxas de 7,99 e 2,54 kg ha<sup>-1</sup>/dia (Figura 41). Em média, com as épocas de suspensão da irrigação nos estádios E1, E2, E3, E4 e E5, os valores estimados de PRP foram de 806 kg ha<sup>-1</sup>, 951 kg ha<sup>-1</sup>, 989 kg ha<sup>-1</sup>, 958 kg ha<sup>-1</sup> e 852 kg ha<sup>-1</sup>; para PRS, foram de 669 kg ha<sup>-1</sup>, 1.280 kg ha<sup>-1</sup>, 1.572 kg ha<sup>-1</sup>, 1.604 kg ha<sup>-1</sup> e 1.450 kg ha<sup>-1</sup>; para PRT, foram de 17 kg ha<sup>-1</sup>, 165 kg ha<sup>-1</sup>, 249 kg ha<sup>-1</sup>, 274 kg ha<sup>-1</sup> e 267 kg ha<sup>-1</sup>; para PRP+PRS, foram de 1.510 kg ha<sup>-1</sup>, 2.275 kg ha<sup>-1</sup>, 2.613 kg ha<sup>-1</sup>, 2.618 kg ha<sup>-1</sup> e 2.365 kg ha<sup>-1</sup> e para PT foram de 1.528 kg ha<sup>-1</sup>, 2.441 kg ha<sup>-1</sup>, 2.863 kg ha<sup>-1</sup>, 2.893 kg ha<sup>-1</sup> e 2.634 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figuras 41 e 42).

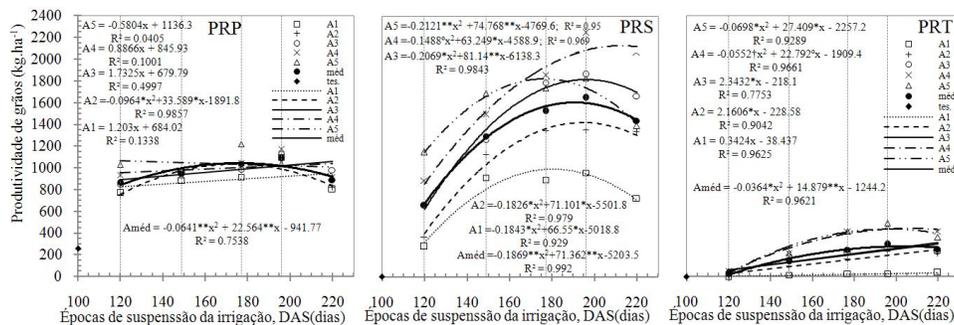


FIGURA 41 Valores médios da produtividade de grãos a 10<sup>o</sup>Ubu, por ordem de racemos primários (PRP), secundários (PRS) e terciários (PRT), e da testemunha (tes), em função das épocas de suspensão da irrigação (E), em dias após a semeadura (DAS), dentro das lâminas de água A1, A2, A3, A4, A5 e efeito médio (Améd). Os símbolos †, °, \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes, pelo teste t, a 20%, 10%, 5% e 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Em média, os menores valores de produtividade PRP, PRS, PRT, PRP+PRS e PT, de 806 kg ha<sup>-1</sup>, 669 kg ha<sup>-1</sup>, 17 kg ha<sup>-1</sup>, 1.510 kg ha<sup>-1</sup> e 1.528 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, foram estimados com a suspensão da irrigação após E1.

Para a PRP, o máximo valor de 989 kg ha<sup>-1</sup> foi estimado com a suspensão da irrigação após E3, enquanto para PRS, PRT, PRPS e PT foram estimados com a suspensão da irrigação após E4, com os valores de 1.604 kg ha<sup>-1</sup>, 274 kg ha<sup>-1</sup>, 2.618 kg ha<sup>-1</sup> e 2.893 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figuras 41 e 42).

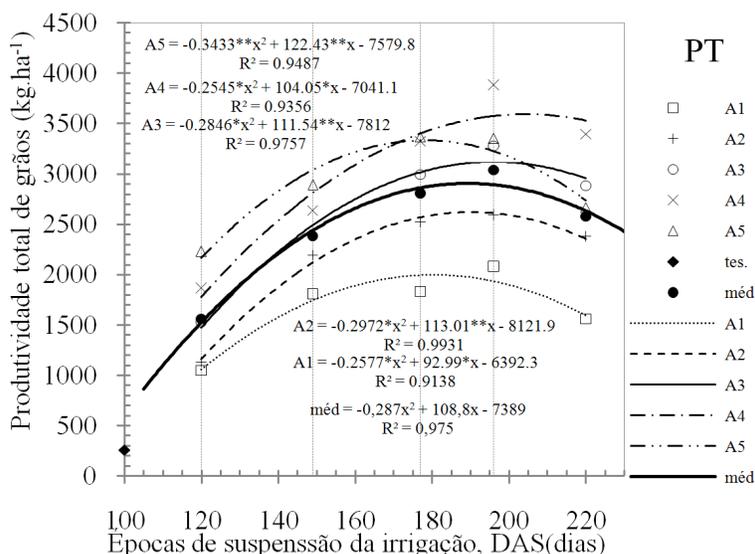


FIGURA 42 Valores médios da produtividade total de grãos a 10%Ubu e da testemunha (tes), em função das épocas de suspensão da irrigação, em dias após a semeadura (E,) dentro das lâminas de água A1, A2, A3, A4, A5 e efeito médio (Améd). Os símbolos \* e \*\* correspondem, respectivamente, às significâncias dos coeficientes de ajustes, pelo teste t, a 5% e a 1% de probabilidade. Lavras, MG, 2011.

Com relação ao efeito do desdobramento dos níveis do fator E dentro de cada nível do fator A (Figura 41), observou-se, para a PRP, o efeito quadrático decrescente com o aumento das épocas de suspensão da irrigação apenas para a lâmina de irrigação A2(E:A2), à semelhança do efeito médio, não sendo observado, para nenhum dos demais desdobramentos (E:A1, E:A3, E:A4 e

E:A5), efeito entre os modelos testados. Já para a PRT, observou-se um efeito linear crescente com aumento da época de suspensão da irrigação para as lâminas dos desdobramentos E:A2, E:A3, E:A4 e E:A5, às taxas de  $2,16 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ,  $2,34 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ,  $4,01 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e  $3,75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , à exceção da lâmina de A1(E:A1) e, adicionalmente, para as maiores lâminas excessivas A4 (E:A4) e A5 (E:A5), os maiores valores de PRT sob efeito quadrático decrescente com as épocas de suspensão, Ressalta-se que, para o desdobramento E:A4, os coeficientes quadrático e linear do modelo foram significativos, a 15% e a 5%, e, nos demais desdobramentos, a, pelo menos, 5% (Figura 41). Assim, com o aumento do período irrigado E1, E2, E3, E4 e E5 aplicado às lâminas A4 e A5 (E:A4 e E:A5), os maiores valores estimados foram bastante próximos, observando-se, para o desdobramento E:A4, os valores de  $31 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $261 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $395 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $437 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $433 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, destacando-se a maior PRT, de  $437 \text{ kg ha}^{-1}$ , com a suspensão da irrigação A4 (A4E4).

Observou-se, para as produtividades PRS, PRP+PRS e PT, o efeito quadrático decrescente com o aumento das épocas de suspensão da irrigação (E) dentro de cada lâmina de água (E:A1; E:A2; E:A3; E:A4 e E:A5), sendo, para o desdobramento E:A4, as produtividades PRS e PRP+PRS com os coeficientes quadrático e linear do modelo significativos a 10% e a 5% e, nos demais desdobramentos, a, pelo menos, 5% (Figura 41 e 42). Também foi observado o efeito linear crescente dessas produtividades (PRS, PRP+PRS e PT) com o aumento das épocas de suspensão da irrigação (E) dentro das lâminas de água A2, A3 e A4 (E:A2, E:A3 e E:A4). Assim, para os desdobramentos E:A2, E:A3 e E:A4, observaram-se, para PRS, taxas de 9,2; 11,0 e  $12,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ; para PRP+PRS, taxas de 10,10; 12,33 e  $13,68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e, para a PT, taxas de 12,26; 15,08 e  $17,77 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente, destacando-se, em todas elas,

como sendo mais responsiva, a lâmina próxima da capacidade de campo (A4) de desdobramento E:A4.

Com relação ao efeito quadrático dos desdobramentos E:A1, E:A2, E:A3, E:A4 e E:A5, os valores de produtividade PRP+PRS estimada com o aumento das épocas de suspensão da irrigação E1, E2, E3, E4 e E5 no desdobramento E:A1 foram de 1.055 kg ha<sup>-1</sup>, 1.727 kg ha<sup>-1</sup>, 1.968 kg ha<sup>-1</sup>, 1.903 kg ha<sup>-1</sup> e 1.557 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 41); no desdobramento E:A2. foram de 1.152 kg ha<sup>-1</sup>, 2.011 kg ha<sup>-1</sup>, 2.396 kg ha<sup>-1</sup>, 2.408 kg ha<sup>-1</sup> e 2.135 kg ha<sup>-1</sup>; no E:A3, de 1.458 kg ha<sup>-1</sup>, 2.329 kg ha<sup>-1</sup>, 2.776 kg ha<sup>-1</sup>, 2.858 kg ha<sup>-1</sup> e 2.706 kg ha<sup>-1</sup>; no E:A4, de 1.748 kg ha<sup>-1</sup>, 2.549 kg ha<sup>-1</sup>, 3.004 kg ha<sup>-1</sup>, 3.135 kg ha<sup>-1</sup> e 3.094 kg ha<sup>-1</sup> e, no E:A5, de 2.141 kg ha<sup>-1</sup>, 2.763 kg ha<sup>-1</sup>, 2.927 kg ha<sup>-1</sup>, 2.794 kg ha<sup>-1</sup> e 2.344 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Do mesmo modo, os valores de produtividade PRS estimados no desdobramento E:A1 foram de 313 kg ha<sup>-1</sup>, 806 kg ha<sup>-1</sup>, 987 kg ha<sup>-1</sup>, 945 kg ha<sup>-1</sup> e 702 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 41); no E:A2, de 401 kg ha<sup>-1</sup>, 1.038 kg ha<sup>-1</sup>, 1.362 kg ha<sup>-1</sup>, 1.419 kg ha<sup>-1</sup> e 1.303 kg ha<sup>-1</sup>; no E:A3, de 619 kg ha<sup>-1</sup>, 1.358 kg ha<sup>-1</sup>, 1.742 kg ha<sup>-1</sup>, 1.817 kg ha<sup>-1</sup> e 1.699 kg ha<sup>-1</sup>; no E:A4, de 858 kg ha<sup>-1</sup>, 1.532 kg ha<sup>-1</sup>, 1.944 kg ha<sup>-1</sup>, 2.092 kg ha<sup>-1</sup> e 2.124 kg ha<sup>-1</sup> e, no E:A5, de 1.148 kg ha<sup>-1</sup>, 1.662 kg ha<sup>-1</sup>, 1.819 kg ha<sup>-1</sup>, 1.737 kg ha<sup>-1</sup> e 1.414 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Já para a produtividade total PT estimada no desdobramento E:A1, foram de 1.056 kg ha<sup>-1</sup>, 1.742 kg ha<sup>-1</sup>, 1.993 kg ha<sup>-1</sup>, 1.934 kg ha<sup>-1</sup> e 1.593 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 42); no E:A2, de 1.160 kg ha<sup>-1</sup>, 2.118 kg ha<sup>-1</sup>, 2.570 kg ha<sup>-1</sup>, 2.611 kg ha<sup>-1</sup> e 2.356 kg ha<sup>-1</sup>; no E:A3, de 1.475 kg ha<sup>-1</sup>, 2.489 kg ha<sup>-1</sup>, 3.014 kg ha<sup>-1</sup>, 3.117 kg ha<sup>-1</sup> e 2.952 kg ha<sup>-1</sup>; no E:A4, de 1.780 kg ha<sup>-1</sup>, 2.812 kg ha<sup>-1</sup>, 3.403 kg ha<sup>-1</sup>, 3.576 kg ha<sup>-1</sup> e 3.532 kg ha<sup>-1</sup> e, no E:A5, de 2.168 kg ha<sup>-1</sup>, 3.041 kg ha<sup>-1</sup>, 3.335 kg ha<sup>-1</sup>, 3.228 kg ha<sup>-1</sup> e 2.739 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Cabe destacar que, para cada um desses desdobramentos (E:A1; E:A2; E:A3; E:A4 e E:A5), as menores produtividades PRS, PRP+PRS e PT, de 313 kg ha<sup>-1</sup>, 1.055 kg ha<sup>-1</sup> e 1.056 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, foram estimadas com a menor lâmina e período de irrigação (A1E1), contudo, foram superadas em 124%, 48% e 51% (Figura 41 e 42), pelas respectivas produtividades (702 kg ha<sup>-1</sup>, 1.557 kg ha<sup>-1</sup> e 1.593 kg ha<sup>-1</sup>), estimadas com a maior lâmina aplicada nesse período (A5E1). Ainda deve-se destacar, para os desdobramentos de menor lâmina (E:A1), a tendência de estimativa de PRP, PRP+PRS e PT de 284 kg ha<sup>-1</sup>, 258 kg ha<sup>-1</sup> e 246 kg ha<sup>-1</sup>, aos 85, 98 e 98 DAS, respectivamente, aproximadas da obtida no cultivo de sequeiro (259 kg ha<sup>-1</sup>) com a suspensão da irrigação aos 100 DAS (E0), próximo do estágio de estabelecimento da cultura, aos 86 DAS (Eo) (Figuras 41 e 42).

Por outro lado, a produtividade máxima PRS, PRP+PRS e PT, nos desdobramentos de menor e maior lâmina de irrigação, E:A1 e E:A5, foi estimada para a época de suspensão da irrigação E3, sendo, para a menor lâmina sob essa suspensão (A1E3), estimados os menores valores máximos dessas produtividade, de 987 kg ha<sup>-1</sup>, 1.968 kg ha<sup>-1</sup> e 1.993 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, superadas em 84%, 49% e 67%, pelos valores máximos estimados (1.819 kg ha<sup>-1</sup>, 2.927 kg ha<sup>-1</sup> e 3.335 kg ha<sup>-1</sup>), para a maior lâmina suspensa nessa época (A5E3) (Figuras 41 e 42). Para os demais desdobramentos, E:A2, E:A3 e E:A4, a máxima produtividade PRS, PRP+PRS e PT estimada foi obtida com a suspensão da irrigação E4, sendo, para a lâmina de A2 (A2E4), de 1.419 kg ha<sup>-1</sup>, 2.408 kg ha<sup>-1</sup> e 2.611 kg ha<sup>-1</sup>; para a lâmina A3 (A3E4), de 1.817 kg ha<sup>-1</sup>, 2.858 kg ha<sup>-1</sup> e 3.117 kg ha<sup>-1</sup> e, para a lâmina de A4 (A4E4), de 2.092 kg ha<sup>-1</sup>, 3.135 kg ha<sup>-1</sup> e 3.576 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 41 e 42).

Comparando-se os desdobramentos E:A1; E:A2; E:A3; E:A4 e E:A5, para estimativa das produtividades máximas de PRS, PRP+PRS e PT (2.092 kg

ha<sup>-1</sup>, 3.135 kg ha<sup>-1</sup>, 3.576 kg ha<sup>-1</sup>) destacou-se o desdobramento E:A4, com a suspensão da irrigação na maturação secundária (A4E4). Resumindo, as máximas produtividades estimadas com as melhores combinações A1E3, A2E4, A3E4, A4E4 e A5E3 corresponderam, em relação à melhor entre elas (A4E4), para PRS, em 47%, 68%, 87%, 100% e 87% de 2.092 kg ha<sup>-1</sup>; para PRP+PRS, corresponderam a 63%, 77%, 91%, 100% e 93% de 3.135 kg ha<sup>-1</sup> e, para PT, corresponderam a 56%, 73%, 87%, 100% e 93% de 3.576 kg ha<sup>-1</sup>, estimados para A4E4, respectivamente.

Com esses resultados de produtividade, à semelhança do desdobramento do fator A, destacaram-se, com o máximo ganho de produtividade primária e secundária (PRP+PRS, 3.135 kg ha<sup>-1</sup>) e total da cultura (PT, 3.576 kg ha<sup>-1</sup>), assim como de eficiência de uso da água (681 e 777 gm<sup>-3</sup>), a lâmina total acumulada de 460 mm no ciclo, o manejo da irrigação A4E4 com suspensão no estágio de maturação secundária (E4) e a aplicação da lâmina de reposição de 130% da lâmina A3(LBI) adotada para a manutenção da umidade do solo próxima da capacidade de campo. Dessa forma, considerando, entre outros, os parâmetros adotados para o estabelecimento da lâmina considerada ótima 100%A3, à fração de esgotamento ( $f = 0,62$ ), conclui-se que, para uma razoável equivalência entre a lâmina ótima adotada A3 (100%LBI) e a real observada A4 (130%A3), a fração de esgotamento pode ser proporcionalmente reduzida de 0,62 para, aproximadamente, 0,5 (ou a tensão crítica de 26 para 17 kPa), valor esse recomendado para culturas semelhantes, como o café (ALLEN et al., 1998).

Além disso, destacou-se, como crítica por restrição, a suspensão da disponibilidade hídrica do solo anterior ao estágio de antese secundária (E2), com significativas perdas de produtividade das ordens primária e secundária (PRP+PRS) e eficiência de uso da água (EUA), especialmente quando associada às menores lâminas de irrigação (A1 e A2). Por outro lado, destacou-se como

crítica por excesso, a suspensão da disponibilidade hídrica do solo após o estágio de maturação secundária (E4), com redução considerável de produtividade de ordem primária e secundária (PRP+PRS) e total (PT), assim como das respectivas eficiências de uso da água (EUA), especialmente quando associada às lâminas de irrigação excessiva (A4 e A5).

Vale ainda ressaltar, além desse tipo de manejo da irrigação com a maior disponibilidade possível de água nos estádios iniciais (A3E2, A4E2 e A5E2), a importância da coincidência desses estádios com as estações do ano de maior disponibilidade de chuvas (ou do planejamento do calendário agrícola) e das previsões agroclimáticas (e/ou de safra) com as condições adversas de estiagem (veranicos) que, por vezes, especialmente para o cultivo de sequeiro (A0E0), causam prejuízos à economia agrícola. Do mesmo modo, se torna importante, para os maiores ganhos de produtividade e/ou economia de água, a suspensão da irrigação no estágio de maturação secundária (A3E4).

#### **4.4.3 Superfície de resposta**

Na Tabela 5 é apresentado o resumo da análise de variância da regressão dos valores médios da produtividade de grãos por ordem primária (P), secundária (S) e terciária (T) dos racemos primários (PRP), secundários (PRS), terciários (PRT), primários e secundários (PRPS = PRP+PRS) e produtividade total da cultura (PT) e valores estimados dos parâmetros do modelo polinomial quadrático, em função das lâminas de água de reposição em porcentagem (A) e das épocas de suspensão da irrigação, em dias após a semeadura ou DAS (E).

Conforme dados da Tabela 5, observou-se que a superfície de resposta de PRP, PRS, PRT, PRPS e PT, segundo o modelo polinomial quadrático, explicou as respectivas produtividades médias observadas com as variações dos

fatores água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E), em 61,80%, 89,71%, 91,63%, 89,40% e 91,23%, respectivamente, com base nos coeficientes R<sup>2</sup>.

TABELA 5 Resumo da análise de variância da regressão (ANOVA) dos valores médios de produtividade de grãos por ordem de racemos e valores estimados dos parâmetros do modelo polinomial quadrático, em função das lâminas de água de reposição, em porcentagem (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

ANOVA		QUADRADO MÉDIO - QM				
FV	GL	PRP	PRS	PRT	PRPS	PT
BLOCO	2	53022,19n	184465,94n	853,75n	304901,03n	347136,13n
Fat(AxE)	(24)	(8865,17)	(241955,93)	(23672,95)	(330224,64)	(516995,1)
Fat xTes	1	1434102,35**	4978723,93**	108789,50n	14965754,01**	14127667,74**
LINEAR-A	1	209225,14**	7356165,52**	829706,38**	10046595,81**	16650607,2**
LINEAR-E	1	63304,80†	5877410,54**	592527,95**	7160663,35**	11872725,97**
QUADR.-A	1	254,15n	1271624,41**	31106,74†	1307833,36**	1742330,72**
QUADR.-E	1	341836,29**	2905967,03**	110227,38*	5241157,28**	6871499,84**
INTER-AxE	1	23658,25n	2532,14n	140757,89**	10710,59n	73808,79n
DESVIO	19	18730,20n	104593,17n	8197,96n	147242,5n	183453,23n
ERRO	50	27797,86	99824,03	18728,69	175685,99	230181,66
TOTAL	77	50963,53	386231,52	37753,5	661356,15	870488,4
CV%	...	9,99	13,88	40,69	10,62	11,21
PAR.	GL	PARÂMETROS ESTIMIMADOS				
b0	1	-1066,263057	-6650,644037	-1100,525005	-7726,930358	-9329,884364
b1	1	1,244916	24,67422137	0,159060756	26,16360721	31,3472773
b2	1	22,56420088	71,36190896	11,96473055	93,92610985	108,8050234
b3	1		-0,086462397	-0,013523063	-0,087684746	-0,101207603
b4	1	-0,064114986	-0,186937233	-0,036407866	-0,251052219	-0,287459217
b5	1			0,029145355		
R2	...	0,6180	0,8971	0,9163	0,8940	0,9123

Produtividade de grãos por ordem de racemos primários (PRP), secundários (PRS), terciários (PRT), primários e secundários (PRPS) e produtividade total da cultura (PT); †, †, †, †, † e n correspondem, respectivamente, a significativos a 20%, 10%, 5%, 1% e não-significativo, a 5%, pelo teste F; b0, b1, b2, b11, b22 e b12 são os parâmetros de ajuste do modelo  $Y = b_0 + b_1A + b_2E + b_{11}A^2 + b_{22}E^2 + b_{12}AE$ .

Destacaram-se, sobre todas essas produtividades (PRP, PRS, PRT, PRPS e PT), particularmente para as consecutivas ordens (PRP, PRS e PRT), os efeitos lineares dos fatores A e E (linear-A e linear-E), e quadráticos dos fatores A e E (quadrático-A e quadrático-E). Cabe ressaltar que, para a PRP, foram observados apenas os efeitos quadrático-E, linear-A e linear-E, este último significativo a 15% (<20%) e os dois anteriores, a 1% de probabilidade; para a PRS, foram observados todos os efeitos lineares e quadráticos dos fatores

estudados (linear-A, linear-E, quadrático-A e quadrático-E) e, para a PRT, os efeitos linear-A, linear-E, quadrático-E, quadrático-A, este significativo a 20% de probabilidade, e de interação positiva entre os dois fatores inter-AxE (conforme sinal dos parâmetros) e o maior coeficiente de variação (CV%).

Os efeitos lineares positivos dos fatores lâmina (linear-A) e época (linear-E) sobre as consecutivas produtividades PRP, PRS e PRT ressalta a importância da aplicação de água em quantidade (A) e distribuição (E) crescentes, durante todo o ciclo produtivo da cultura, especialmente se, por um lado, o objetivo for obter, sob cultivos mais adensados, a produtividade primária, em um ciclo mais curto, ou se, por outro, o objetivo for obter com o ciclo completo a produtividade total de todas as ordens de racemos. Contudo, além do efeito linear-E positivo sobre as ordens produtivas (PRP, PRS e PRT), foi observado também, para todas essas ordens, o efeito quadrático negativo desse fator (quadrático-E), efeito esse expresso pelo incremento decrescente da produção de racemos com o aumento das épocas (E), conforme coeficientes do modelo (Tabela 5).

Esse efeito confirma a hipótese de que o maior período de irrigação promove a expressão fenológica da parte vegetativa, em detrimento da parte reprodutiva, causando mudança de orientação do mecanismo fisiológico fonte-dreno dos fotoassimilados, mais favorável à parte vegetativa da planta (folhas, ramos e raízes) do que à parte reprodutiva (flores e frutos), visto que, para o caso específico da mamoneira, após a fase inicial (fase I), essas duas partes ocorrem simultaneamente, ao longo de todo o ciclo (BELTRÃO, 2002; LIMA FILHO; VALOIS; LUCAS, 2004; LESSA, 2007; DOORENBOS; KASSAM, 1979).

Por outro lado, para o fator lâmina (A) foi observado o efeito quadrático-A negativo sobre as produtividades secundária (PRS) e terciária (PRT), indicando que, com o aumento das lâminas de água, essas produtividades

aumentaram a taxas decrescentes, até atingir um valor estacionário e tender a cair. Esse efeito quadrático-A, possivelmente, ocorreu com aumento excessivo da disponibilidade hídrica do solo, causando mudanças das condições ótimas do solo para o desenvolvimento do sistema radicular, tais como lixiviação dos nutrientes, favorecimento da falta de oxigênio na zona radicular (hipóxia ou anoxia) e/ou pelas mesmas razões do efeito quadrático-E mais favorável à parte vegetativa do que à parte reprodutiva de flores e frutos.

A produtividade de uma cultura agrícola está condicionada a vários fatores relacionados ao solo, à planta, ao clima e ao nível tecnológico alcançado e/ou empregado no cultivo. Dentre esses fatores, os quantitativos água (lâmina de água, A) e sua distribuição temporal ao longo do ciclo produtivo (época de suspensão da água de irrigação ou chuva, E), abordados neste estudo, merecem destaque especial, visto que, inseridos no contexto agroambiental e econômico da tecnologia de produção, a combinação entre seus diferentes níveis permite, mediante a análise de regressão, o estabelecimento de funções matemáticas empíricas que refletem esse contexto, denominadas de função de resposta ou de produção (ou superfície de resposta da cultura, quando da combinação de dois fatores). Nos estudos agroeconômicos de experimentos existem diferentes aplicações utilizando-se as funções de produção, como, por exemplo, na determinação da aplicação (ou combinação) dos níveis críticos e ótimos potenciais do ponto de vista técnico e econômico, na previsão de safra, no estudo de como os diferentes ambientes podem alterar a produção da cultura e no avanço do conhecimento dos mecanismos biológicos, particularmente o mecanismo de transformação dos fatores em produto (FRIZZONE, 1986).

A função de resposta da produtividade de grãos da mamoneira por ordem de racemos (PRP, PRS e PRT) e total produzido (PRPS e PT) envolveu a combinação fatorial dos níveis de água (A) e épocas de sua suspensão (E),

aplicados sem que houvesse a fixação de quaisquer dos níveis desses fatores. Essa combinação levou à confirmação das hipóteses do efeito desses dois fatores e à construção da superfície de resposta da produtividade total de grãos (PT), em função desses dois fatores (Figura 43), segundo o modelo polinomial quadrático, com os seus parâmetros testados conforme a análise de regressão, para as produtividades primária (PRP), secundária (PRS), terciária (PRT), primária e secundária (PRPS) e total das três ordens produzidas pela cultura (PT) (Tabela 5).

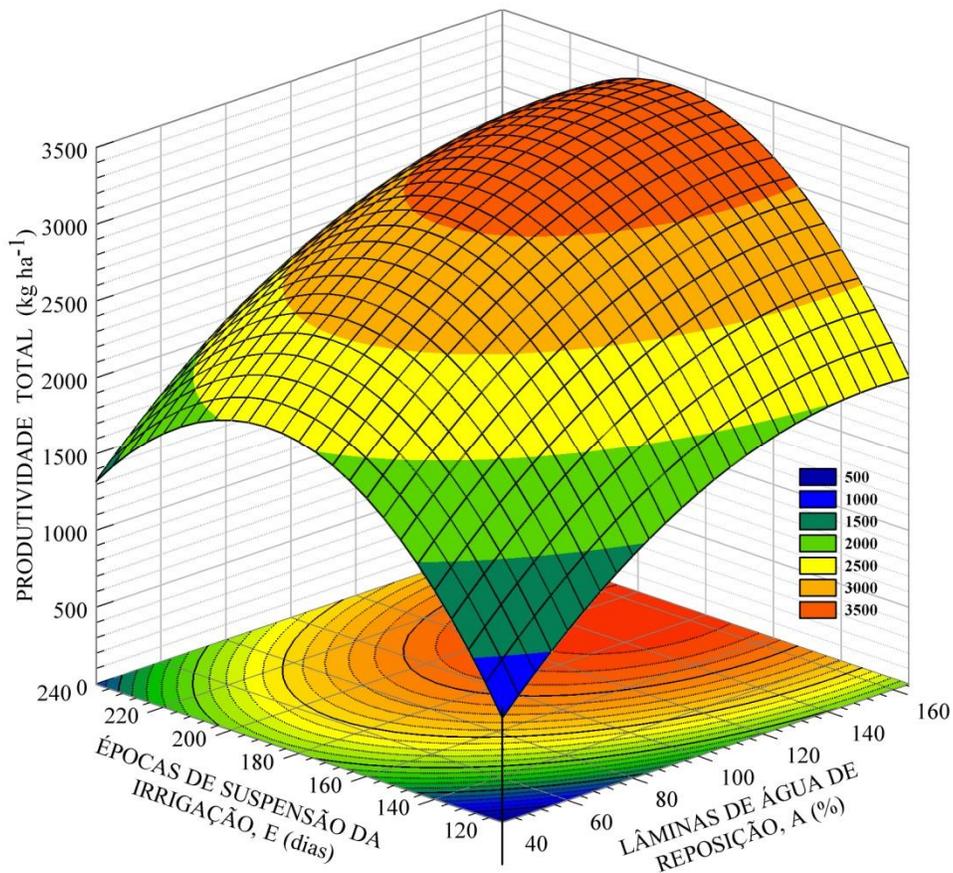


FIGURA 43 Produtividade total de grãos, em função das épocas de suspensão da irrigação e das lâminas de água de reposição. Lavras, MG, 2011.

Na Figura 43 observa-se que, nas linhas da superfície paralelas ao longo dos eixos da água (A) e da época (E), há, inicialmente, nos menores níveis desses fatores, uma maior inclinação positiva, a qual vai diminuindo progressivamente até atingir o zero e, a partir desse ponto, a inclinação torna-se negativa, indicando uma redução na produtividade total da cultura (PT). Observou-se também que a época (E) foi o fator mais limitante na produtividade total, fato esse verificado com a maior curvatura das linhas perpendiculares ao eixo da água na superfície de resposta, apesar de a resposta de produtividade aos níveis das lâminas (A) também ter se mostrado bastante pronunciada. Além disso, observou-se que nenhum fator, por si, só promoveu elevada produtividade e os limites, ou níveis críticos de menor produtividade, foram observados para a combinação de lâminas iguais ou inferiores a 40% da lâmina bruta referência ( $A1 = 40\%A3$ ) com as épocas de suspensão da irrigação e/ou estiagens anteriores aos estádios de antese primária (E1) ou posteriores à maturação de frutos terciários (E5). Consideradas as condições experimentais desse estudo, particularmente as ligadas aos parâmetros de manejo da irrigação localizada, os valores ótimos estimados de máxima eficiência técnica dos fatores A e E para a PT, de  $3.393,3 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 43) foram, segundo ajuste do modelo de parâmetros significativos (Tabela 5), de  $155\%A3$  ( $f \approx 0,33$ ) e 189 DAS ( $E \approx E4$ ).

#### **4.5 Análises técnica e econômica dos fatores de produção**

As análises técnica e econômica do cultivo da mamona neste estudo, segundo os índices de máxima eficiência técnica ( $A_m$  e  $E_m$ ) e econômica da produção ( $A^*$  e  $E^*$ ) do fator água ( $A_m$  e  $A^*$ ) ou do fator época ( $E_m$  e  $E^*$ ), foi realizada, separadamente, com base em suas restrições e no uso das equações ajustáveis de produtividade total da cultura (PT), em relação aos cinco níveis dos

fatores lâmina (A) para cada um dos cinco níveis do fator época (E) e vice-versa, considerados os demais fatores fixos no experimento (*ceteris paribus*). A máxima eficiência técnica de produção de um fator é expressa pelo nível (Am ou Em) relacionado à máxima produção física da função de produção, enquanto a máxima eficiência econômica é expressa pelo nível do fator (A\* ou E\*), capaz de estimar a produção física relacionada ao máximo retorno econômico da função lucro. Ressalta-se que a eficiência econômica de um fator é a extensão de sua eficiência técnica, sendo seu nível ótimo econômico mais próximo ou mais distinto de seu nível de máxima eficiência técnica, dependendo da relação de preços fator-produto.

Essa análise também foi realizada segundo os indicadores de retorno econômico da aplicação desses fatores (CFMe, CVMe, CTMe, RB, L e B/C), considerando os valores médios observados de produtividade total (PT). Esses indicadores econômicos, por um lado, expressam o investimento financeiro total aplicado na produção por unidade produzida em um ciclo.

Cabe destacar que a produtividade total (PT) teve significativos ajustes do modelo de segundo grau, em função dos níveis do fator época (E) dentro de todas as lâminas de água totais do fator água (A). Entretanto, esse modelo em função das lâminas totais de água (Ai, em mm) apenas teve ajustes significativos para as épocas de suspensão da irrigação (E), a partir dos estádios de maturação primária (E3, E4 e E5). Ressalta-se, ainda, que essa análise foi feita apenas em relação à produtividade total de grãos (PT), desprezando-se os possíveis subprodutos da matéria orgânica da casca dos frutos e/ou da planta. Portanto, é possível e recomendável que, para futuros estudos, essa análise seja feita também com base nas respectivas produtividades acumuladas por ordem de racemos (PRP, PRPS), considerando, além dos subprodutos e suas proporções, a

necessidade de redução do ciclo e/ou do tempo de ocupação da cultura na área, com aumento da lucratividade anual.

#### 4.5.1 Lâminas de água dentro de cada época de suspensão da irrigação

Na Tabela 6 estão os resultados da análise de desempenho técnico e econômico do potencial máximo de produtividade total (PT), obtidos com a aplicação da lâmina de máxima eficiência técnica (Am) e ótima econômica (A\*) para o cultivo com manejo da irrigação interrompida no estágio de maturação primária (E3), secundária (E4) e terciária com o final do ciclo (E5), assim como os respectivos indicadores econômicos: custo total econômico (CT), receita bruta (RB), lucro (L) e relação benefício/custo (B/C). O retorno financeiro e os índices econômicos da lâmina de máxima eficiência técnica e econômica (Am e A\*) sob o manejo da irrigação com suspensão nos estádios E3, E4 e E5 foram positivos.

TABELA 6 Resultados do máximo desempenho técnico e econômico das lâminas totais de água para as épocas de suspensão da irrigação E3, E4, E5 e E0. Lavras, MG, 2011

		..... E3 - suspensão da irrigação aos 177 DAS .....				
	Ai	PT	RB	CT	L	B/C
Cód	(mm)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(R\$/ha)	(R\$/ha)	(R\$/ha)	(adm)
Am	444,74	3379,28	3818,59	1993,04	1825,55	1,92
A*	438,43	3377,37	3816,43	1988,63	1827,80	1,92
		..... E4 - suspensão da irrigação aos 196 DAS .....				
Am	473,9	3583,29	4049,12	2013,43	2035,69	2,01
A*	467,1	3581,23	4046,79	2008,68	2038,11	2,01
		..... E5 - suspensão da irrigação aos 220 DAS .....				
Am	471,1	3137,54	3545,42	2011,46	1533,97	1,76
A*	465,2	3135,76	3543,41	2007,34	1536,07	1,77
		... E0 – testemunha com irrigação complementar até os 100 DAS ...				
A0	173,00	258,90	292,56	1171,18	-878,62	0,25

Lâmina total de água de máxima eficiência técnica (Am) e econômica (A\*), produtividade total de grãos da cultura (PT), receita bruta (RB), custo total econômico (CT), lucro (L) e relação custo/benefício da produção (B/C) e épocas de suspensão da irrigação E3, E4, E5 e E0.

Contudo, com o manejo da irrigação suspensa nos estádios E4, E3 e E5, foram obtidos, nessa ordem, os maiores retornos econômicos com lucratividade (L) de R\$2.038,11/ha; R\$1.827,80/ha e R\$1.536,07/ha e relação benefício/ custo (B/C) de 2,01; 1,92 e 1,77 vezes a unidade de capital empregado, ao custo total (CT) de R\$2.008,68/ha, R\$1.988,63/ha e R\$2.007,34/ha. Esses resultados permitiram observar que as lâminas máxima (Am) e ótima (A\*) de cada manejo da irrigação com época de suspensão E3, E4 e E5 foram muito próximas, menos de 7 mm de diferença, com lâmina média de 442 mm, 470 mm e 468 mm, respectivamente. Assim, por consequência, as suas produtividades correspondentes (PT) diferiram em cerca de 2 kg ha<sup>-1</sup>, com produtividade média de 3.378 kg ha<sup>-1</sup>, 3.582 kg ha<sup>-1</sup> e 3.137 kg ha<sup>-1</sup>. Isso indica, para cada um desses manejos (E3, E4 e E5), considerando as condições de preços fator-produto vigentes (Pa = R\$0,68/mm; Py = R\$1,13/kg), que a máxima eficiência econômica (A\*) é alcançada buscando-se a máxima eficiência técnica (Am). Entre essas épocas, o cultivo irrigado com 470 mm (A4 = 460 mm) e suspensão na maturação secundária (E4), ao custo de R\$2.011,06/ha, destacou-se como o de maior eficiência, observados os melhores resultados de produtividade (3.582 kg ha<sup>-1</sup>) e eficiência hídrica (7,62 kg/ha/mm), relação benefício/custo (2,01) e lucratividade (R\$2.036,90/ha), seguido dos melhores resultados obtidos com os cultivos irrigados até a maturação primária (E3) e terciária dos frutos (E5), aplicadas as lâminas de 442 mm e 468 mm, respectivamente.

Na Tabela 7 são apresentados os dados da análise de desempenho econômico da produtividade total de grãos (PT), em função das lâminas totais de água (Ai) para cada época de suspensão da irrigação (Ei), segundo os indicadores custo fixo médio (CFMe), custo variável médio (CVMe), custo total médio (CTMe), receita bruta (RB), lucro (L) e relação benefício/custo da produção (B/C). Os resultados permitem observar que, para a aplicação das

menores lâminas até o estágio de antese primária (A1E1, A2E1 e A3E1), ou com a menor lâmina durante todo o ciclo com a maturação terciária (A1E5), ou para a cultura de sequeiro (A0), os retornos econômicos (L) foram negativos.

TABELA 7 Desempenho econômico da produtividade total de grãos da mamoneira (PT), em função das lâminas totais de água (Ai), em cada época de suspensão da irrigação (Ei). Lavras, MG, 2011

E1 - suspensão da irrigação 120 dias após semeadura(DAS)									
Cód	Ai (%)	(mm)	PT (kg ha <sup>-1</sup> )	CFMe (R\$/kg)	CVMe (R\$/kg)	CTMe (R\$/kg)	RB (R\$/ha)	L (R\$/ha)	B/C (adm)
A1	40	216	<b>1045,0</b>	<b>0,73</b>	<b>1,02</b>	<b>1,75</b>	<b>1180,86</b>	<b>-652,45</b>	<b>0,64</b>
A2	70	225	<b>1131,9</b>	<b>0,68</b>	<b>0,95</b>	<b>1,63</b>	<b>1279,07</b>	<b>-560,53</b>	<b>0,70</b>
A3	100	234	<b>1526,3</b>	<b>0,50</b>	<b>0,71</b>	<b>1,21</b>	<b>1724,69</b>	<b>-121,19</b>	<b>0,93</b>
A4	130	243	<b>1866,0</b>	<b>0,41</b>	<b>0,58</b>	<b>0,99</b>	<b>2108,61</b>	<b>256,44</b>	<b>1,14</b>
A5	160	252	2229,8	0,34	0,49	0,83	2519,67	661,22	1,36
E2 - suspensão da irrigação 149 dias após a semeadura (DAS)									
A1	40	241	<b>1806,5</b>	<b>0,42</b>	<b>0,60</b>	<b>1,02</b>	<b>2041,37</b>	<b>190,60</b>	<b>1,10</b>
A2	70	268	2194,6	0,35	0,50	0,85	2479,90	610,27	1,33
A3	100	296	2381,8	0,32	0,47	0,79	2691,41	802,24	1,42
A4	130	323	2635,1	0,29	0,43	0,72	2977,67	1069,64	1,56
A5	160	351	2890,4	0,26	0,40	0,67	3266,14	1338,56	1,69
E3 - suspensão da irrigação 177 dias após a semeadura (DAS)									
A1	40	265	<b>1831,5</b>	<b>0,42</b>	<b>0,60</b>	<b>1,02</b>	<b>2069,60</b>	<b>202,07</b>	<b>1,11</b>
A2	70	311	2521,1	0,30	0,45	0,75	2848,84	949,18	1,50
A3	100	357	2989,2	0,26	0,39	0,65	3377,77	1445,99	1,75
A4	130	403	<b>3321,7</b>	<b>0,23</b>	<b>0,36</b>	<b>0,59</b>	<b>3753,50</b>	<b>1789,61</b>	<b>1,91</b>
A5	160	449	<b>3368,0</b>	<b>0,23</b>	<b>0,37</b>	<b>0,59</b>	<b>3805,89</b>	<b>1809,87</b>	<b>1,91</b>
E4 - suspensão da irrigação 196 dias após a semeadura (DAS)									
A1	40	283	2079,7	0,37	0,54	0,90	2350,08	469,98	1,25
A2	70	342	2591,8	0,30	0,45	0,74	2928,71	1007,41	1,52
A3	100	401	<b>3278,0</b>	<b>0,23</b>	<b>0,37</b>	<b>0,60</b>	<b>3704,19</b>	<b>1741,69</b>	<b>1,89</b>
A4	130	460	<b>3882,3</b>	<b>0,20</b>	<b>0,32</b>	<b>0,52</b>	<b>4387,02</b>	<b>2383,32</b>	<b>2,19</b>
A5	160	519	3350,6	0,23	0,38	0,61	3786,14	1741,24	1,85
E5 - suspensão da irrigação 220 dias após a semeadura (DAS)									
A1	40	292	<b>1556,5</b>	<b>0,49</b>	<b>0,72</b>	<b>1,21</b>	<b>1758,87</b>	<b>-127,52</b>	<b>0,93</b>
A2	70	357	2377,1	0,32	0,49	0,81	2686,15	754,38	1,39
A3	100	423	2880,9	0,27	0,42	0,69	3255,41	1277,55	1,65
A4	130	489	3394,6	0,23	0,37	0,60	3835,92	1811,97	1,90
A5	160	554	2668,2	0,29	0,49	0,78	3015,05	945,72	1,46
A0	0	173	258,9	0,98	3,54	4,52	292,55	-878,63	0,25

Indicadores econômicos: custo fixo médio (CFMe), custo variável médio (CVMe), custo total médio (CTMe), receita bruta (RB), lucro (L) e relação benefício/custo da produção (B/C).

Expressos pela relação benefício/custo (B/C), esses retornos foram linearmente crescentes com o aumento das lâminas aplicadas até os dois primeiros estádios de antese primária (A:E1) e secundária (A:E2), destacando-se os maiores retornos (B/C de 1,36 e 1,69) obtidos em combinação com a maior lâmina (A5E1 e A5E2). Por outro lado, com o aumento das lâminas aplicadas até os estádios seguintes de maturação primária (A:E3), secundária (A:E4) e terciária (A:E5), esses retornos aumentaram com incrementos decrescentes, obtendo-se, em combinação com a aplicação da lâmina de 130% da lâmina de referência (A4E3, A4E4 e A4E5), os retornos econômicos máximos (B/C) de 1,91; 2,19 e 1,90 vezes a unidade de capital empregado, respectivamente.

Dias et al. (2008) verificaram que, para as condições de Barbalha, CE, aplicadas as lâminas de água entre 403 e 678 mm via irrigação por aspersão, houve incremento linear positivo da produtividade da mamoneira ‘BRS energia’ e dos custos de produção, com retornos para cada real aplicado de R\$0,10 a R\$0,24, ao preço de R\$ 0,75/kg. Seguindo essa tendência, os autores obtiveram, sob a menor lâmina de 403 mm, a produtividade de 2.075 kg ha<sup>-1</sup>, ao custo total de R\$1.836,05 e, para a maior lâmina (678 mm), 3.361 kg ha<sup>-1</sup>, ao custo de R\$2.029,91. Essa maior produtividade obtida com 678 mm é semelhante à média do cultivo A4E5 (3.395 kg ha<sup>-1</sup>), obtida com uma lâmina cerca de 190 mm menor (489 mm), ao custo de R\$2.018,90 (Tabela 7). Ou, ainda, semelhante à produtividade ótima (3.378 kg ha<sup>-1</sup>) obtida com uma lâmina 236 mm menor (442 mm), aplicada até a época de suspensão E3 (Tabela 6), ao custo de R\$1.990,84.

Confrontando-se a suspensão da irrigação nos diferentes estádios (E1, E2, E3, E4 e E5) e seus respectivos níveis percentuais da lâmina de referência (A1, A2, A3, A4 e A5), os três menores retornos econômicos ( $L > 0$ ) foram

obtidos com as épocas de suspensão da irrigação nos estádios iniciais E1, E2 e E3 combinadas, respectivamente, às lâminas A4, A1 e A1 (B/C de 1,14; 1,10 e 1,11). Por outro lado, os maiores retornos econômicos (L) foram obtidos com a suspensão da irrigação no estádio E4 (A:E4), comparativamente às respectivas lâminas A1, A2, A3, A4 e A5 de cada época de suspensão da irrigação (E), destacando-se a lâmina de irrigação A4 (A4E4), que promoveu maior lucro (L), de R\$2.383,32/ha e relação benefício/custo (B/C) de 2,19 vezes a unidade de capital invertido.

Com os resultados obtidos, ao confrontar os custos médios com o preço da mamona cobrado no mercado ( $P_y = R\$1,13/\text{kg}$ ), a maioria das combinações dos fatores estudados, à exceção das que tiveram prejuízo, encontra-se numa situação de lucro econômico, cobrindo seus custos, inclusive lucros normais (custo alternativo) e, ainda, proporcionando um adicional ( $P_y > CTMe$ ). Nesta situação, a atividade estará em condições de se expandir, proporcionando o melhor lucro possível, em comparação com outras alternativas de emprego dos recursos produtivos. No entanto, tal situação, em um mercado competitivo, pode levar à entrada de investimentos concorrentes, elevando a oferta do produto em análise.

Já as combinações dos fatores produtivos que tiveram prejuízo (A1E1, A2E1, A3E1 e A1E5), à exceção do cultivo de sequeiro (A0), encontram-se numa situação em que o preço paga os custos variáveis e parte dos custos fixos ( $CVM_e < P_y < CTMe$ ). Desse modo, por se tratar de desembolsos efetuados dentro do ciclo produtivo, os custos variáveis são os mais considerados pelo produtor na tomada de decisão, no curto prazo. Assim, esta é uma situação em que existe possibilidade de que a produção tenha continuidade. Entretanto, caso não se consiga repor parte do capital fixo nos ciclos produtivos subsequentes, é possível que os investimentos tecnológicos na cultura tornem-se inviáveis,

dificultando o aumento de produtividade e/ou de rentabilidade da cultura e, a longo prazo, o produtor venha optar por outra alternativa.

Cabe ressaltar que, além da produtividade obtida pela combinação racional e/ou ótima dos fatores de produção, o lucro econômico depende também da relação de preços de compra praticados no mercado. Sendo assim, num cenário em que há expectativa, por parte dos produtores, de que o preço alcance, por exemplo, R\$1,80/kg, até mesmo o cultivo irrigado A1E1, de maior prejuízo econômico, passaria a ter lucro econômico ( $1,8 > CTMe = 1,75$ ).

Por outro lado, se o preço de mercado atingisse um mínimo abaixo de R\$0,52/kg, não se obteria lucro econômico (Tabela 7) para nenhum dos cultivos estudados ( $P_y < CTMe$ ) e, em alguns casos, como o do manejo irrigado com a lâmina A1, não se cobririam nem os custos variáveis ( $P_y < CVMe$ ). Contudo, para que se possa almejar lucro normal ( $P_y = CTMe$ ) a esse preço mínimo de R\$0,52/kg, deve-se obter, no cultivo irrigado, maior eficiência técnica com produtividade média superior à média observada ( $3.882,3 \text{ kg ha}^{-1}$ ) no cultivo A4E4. Com isso, torna-se interessante analisar a possibilidade de novas situações, levando em consideração a possível ocorrência destes cenários.

#### **4.5.2 Épocas de suspensão dentro de cada lâmina da irrigação**

Na Tabela 8 estão os resultados da análise de desempenho técnico e econômico do potencial máximo de produtividade total (PT), obtidos com a época de suspensão da irrigação de máxima eficiência técnica (Em) e ótima econômica (E\*) para o manejo da irrigação com as lâminas A1, A2, A3, A4 e A5, assim como os respectivos indicadores econômicos: custo total (CT), receita bruta (RB), lucro (L) e relação benefício/custo (B/C).

TABELA 8 Análise do máximo desempenho técnico e econômico das épocas de suspensão da irrigação para as lâminas totais de água A1, A2, A3, A4 e A5. Lavras, MG, 2011.

A1 - 40% da lâmina de água de reposição ao solo						
	Ei	PT	RB	CT	L	B/C
Cód	DAS(dias)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(R\$/ha)	(R\$/ha)	(R\$/ha)	(adm)
Em	180	1996,92	2256,52	1975,31	281,21	1,14
E*	178	1995,00	2254,34	1970,88	283,47	1,14
A2 - 70% da lâmina de água de reposição ao solo						
Em	190	2621,64	2962,45	1991,05	971,40	1,49
E*	188	2619,97	2960,56	1987,21	973,36	1,49
A3 - 100% da lâmina de água de reposição ao solo						
Em	196	3118,72	3524,15	2000,56	1523,59	1,76
E*	194	3116,98	3522,19	1996,54	1525,64	1,76
A4 - 130% da lâmina de água de reposição ao solo						
Em	204	3593,08	4060,19	2014,22	2045,97	2,02
E*	202	3591,14	4057,98	2009,73	2048,25	2,02
A5 - 160% da lâmina de água de reposição ao solo						
Em	178	3334,81	3768,34	1971,86	1796,48	1,91
E*	176	3333,37	3766,71	1968,53	1798,18	1,91
A0 - testemunha, consumo de água de 173 mm						
A0	173	258,90	292,56	1171,18	-878,62	0,25

Época de suspensão da irrigação de máxima eficiência técnica (Em) e econômica (E\*), produtividade total de grãos da cultura (PT), receita bruta (RB), custo total econômico (CT), lucro (L) e relação custo benefício da produção (B/C) e lâminas de água de reposição, em porcentagem, A1, A2, A3, A4 e A5.

O retorno financeiro e os índices econômicos da lâmina de máxima eficiência técnica e econômica (Em e E\*) sob o manejo da irrigação com as lâminas A1, A2, A3, A4 e A5 foram positivos. Contudo, com o manejo da irrigação com as lâminas A4, A5 e A3, foram obtidos, nesta ordem, os maiores retornos econômicos com lucro (L) de R\$2.048,25/ha, R\$1.798,18/ha e R\$1.525,64/ha e relação benefício/custo (B/C) de 2,02; 1,91 e 1,76 vezes a unidade de capital empregado, ao custo total (CT) de R\$2.009,73/ha, R\$1.968,53/ha e R\$1.996,54/ha.

Esses resultados permitiram observar que as épocas máxima (Em) e ótima (E\*) de cada lâmina A1, A2, A3, A4 e A5 foram muito próximas, menos de três dias de diferença, com épocas médias de 179, 189, 195, 203 e 177 DAS,

e/ou aproximadas dos estádios E3, E4, E4, E4 e E3, respectivamente e, por consequência, as produtividades correspondentes (PT) diferiram em menos de 2 kg ha<sup>-1</sup>, obtidas as produtividades médias de 1.996 kg ha<sup>-1</sup>, 2.621 kg ha<sup>-1</sup>, 3.118 kg ha<sup>-1</sup>, 3.592 kg ha<sup>-1</sup> e 3.334 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Isso indica, para cada um a dessas lâminas (A1, A2, A3, A4 e A5), considerando as condições de preços fator-produto vigentes (Pe = R\$1,59/dia; Py = R\$1,13/kg), que a máxima eficiência econômica (E\*) é alcançada buscando-se a máxima eficiência técnica (Em). Entre essas lâminas, o cultivo com suspensão da irrigação aos 203 DAS (próxima da maturação secundária, E4) e lâmina A4 (460 mm), ao custo de R\$2.011,97/ha, destacou-se como de maior eficiência, observados os melhores resultados de produtividade (3.592 kg ha<sup>-1</sup>) e eficiência hídrica (7,81 kg/ha/mm), relação benefício/custo (2,02) e lucratividade (R\$2.047,11/ha), seguido dos melhores resultados obtidos com os cultivos irrigados com as lâminas A5 (A5E4) e A3 (A3E4), aplicadas às lâminas de 449 mm e 401 mm, respectivamente.

Na Tabela 9 são apresentados os dados da análise de desempenho econômico da produtividade total de grãos (PT), em função das épocas de suspensão da irrigação (Ei) para cada lâmina total de água (Ai), segundo os indicadores custo fixo médio (CFMe), custo variável médio (CVMe), custo total médio (CTMe), receita bruta (RB), lucro (L) e relação benefício/custo da produção (B/C). Os resultados permitem observar que, para a suspensão da irrigação de lâminas A1, A2 e A3 aplicadas até o estádio de antese primária (A1E1, A2E1 e A3E1), ou de menor lâmina A1 aplicada durante todo o ciclo (A1E5), ou para a cultura de sequeiro (E0), houve prejuízo (L < 0). Expressos pela relação benefício/custo (B/C), esses retornos aumentaram com incrementos decrescentes com o aumento das épocas de suspensão da irrigação em cada lâmina de água aplicada.

TABELA 9 Desempenho econômico da produtividade total de grãos da mamoneira (PT), em função das épocas de suspensão da irrigação (Ei), dentro de cada lâmina de água (Ai). Lavras, MG, 2011

A1 - 40% da Lâmina de água de reposição ao solo								
	Ei	PT	CFMe	CVMe	CTMe	RB	L	B/C
Cód	DAS (dias)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(R\$/kg)	(R\$/kg)	(R\$/kg)	(R\$/ha)	(R\$/ha)	(adm)
E1	120	1045,0	0,73	1,06	1,80	1180,86	-696,37	0,63
E2	149	1806,5	0,42	0,64	1,07	2041,37	117,07	1,06
E3	177	1831,5	0,42	0,66	1,08	2069,60	99,86	1,05
E4	196	2079,7	0,37	0,59	0,96	2350,08	349,50	1,17
E5	220	1556,5	0,49	0,82	1,31	1758,87	-280,66	0,86
A2 - 70% da lâmina de água de reposição ao solo								
E1	120	1131,9	0,68	0,98	1,66	1279,07	-598,17	0,68
E2	149	2194,6	0,35	0,53	0,88	2479,90	555,60	1,29
E3	177	2521,1	0,30	0,48	0,78	2848,84	879,09	1,45
E4	196	2591,8	0,30	0,48	0,77	2928,71	928,13	1,46
E5	220	2377,1	0,32	0,54	0,86	2686,15	646,62	1,32
A3 - 100% da lâmina de água de reposição ao solo								
E1	120	1526,3	0,50	0,73	1,23	1724,69	-152,54	0,92
E2	149	2381,8	0,32	0,49	0,81	2691,41	767,11	1,40
E3	177	2989,2	0,26	0,40	0,66	3377,77	1408,02	1,71
E4	196	3278,0	0,23	0,38	0,61	3704,19	1703,61	1,85
E5	220	2880,9	0,27	0,44	0,71	3255,41	1215,88	1,60
A4 - 130% da lâmina de água de reposição ao solo								
E1	120	1866,0	0,41	0,60	1,01	2108,61	231,37	1,12
E2	149	2635,1	0,29	0,44	0,73	2977,67	1053,36	1,55
E3	177	3321,7	0,23	0,36	0,59	3753,50	1783,76	1,91
E4	196	3882,3	0,20	0,32	0,52	4387,02	2386,44	2,19
E5	220	3394,6	0,23	0,38	0,60	3835,92	1796,39	1,88
A5 - 160% da lâmina de água de reposição ao solo								
E1	120	2229,8	0,34	0,50	0,84	2519,67	642,43	1,34
E2	149	2890,4	0,26	0,40	0,67	3266,14	1341,84	1,70
E3	177	3368,0	0,23	0,36	0,58	3805,89	1836,14	1,93
E4	196	3350,6	0,23	0,37	0,60	3786,14	1785,56	1,89
E5	220	2668,2	0,29	0,48	0,76	3015,05	975,52	1,48
E0	100	258,9	0,98	3,54	4,52	292,55	-878,63	0,25

Indicadores econômicos: custo fixo médio (CFMe), custo variável médio (CVMe), custo total médio (CTMe), receita bruta (RB), lucro (L) e relação benefício/custo da produção (B/C).

Destacou-se com o maior lucro L de R\$2.386,44/ha e relação benefício/custo B/C de 2,19 vezes a unidade de capital empregado no manejo da

lâmina A4, em combinação com a suspensão na maturação secundária E4 (A4E4, 460 mm), seguida dos manejos das lâminas A5 e A3, combinadas à restrição hídrica após a maturação primária E3 (A5E3, 449 mm) e secundária E4 (A3E4, 401 mm), com B/C de 1,93 e 1,85, respectivamente. Esses resultados indicam não ser viável economicamente o cultivo sob restrição hídrica após o estágio E1, exceto se forem fornecidas, até esse estágio, lâminas de água maiores que a lâmina de referência (A3), ou efetuadas irrigações após a maturação dos racemos secundários (E4).

Confrontando-se os custos médios com o preço da mamona no mercado ( $P_y = R\$1,13/\text{kg}$ ), a maioria das combinações dos fatores estudados, à exceção das que tiveram prejuízo, encontra-se numa situação de lucro econômico supernormal ( $P_y > CTMe$ ). Contudo, cabe ressaltar que, num cenário de mercado desfavorável à produção de mamona, considerando um preço mínimo abaixo de  $R\$0,52/\text{kg}$ , não se obteria lucratividade (Tabela 9) para nenhum dos cultivos estudados ( $P_y < CTMe$ ) e, em alguns casos, como do manejo irrigado com a lâmina A1 e/ou com restrição hídrica após estágio E1, não seriam cobertos nem os custos variáveis ( $P_y < CVMe$ ). Com isso, para que se possa almejar lucro normal ( $P_y = CTMe$ ) a esse preço mínimo de  $R\$0,52/\text{kg}$ , deve-se obter, no cultivo irrigado, maior eficiência técnica, com produtividade média superior à média observada ( $3.882,3 \text{ kg ha}^{-1}$ ) no cultivo A4E4.

Os resultados permitem observar que, para a aplicação das menores lâminas até o estágio de antese primária (A1E1, A2E1 e A3E1), ou com a menor lâmina durante todo o ciclo com a maturação terciária (A1E5), ou para a cultura de sequeiro (A0E0), houve prejuízos ( $L < 0$ ). Com o cultivo de sequeiro (A0), sob a lâmina total de 173 mm, obtiveram-se as menores produtividade total PT ( $258,9 \text{ kg ha}^{-1}$ ), eficiência hídrica EUA ( $1,5 \text{ kg/ha/mm}$ ) e prejuízo com relação B/C de 0,25, a um custo total de  $R\$1.171,18/\text{ha}$  (CTs). Para essas condições de

produtividade, o preço não cobre nem os custos variáveis ( $P_y < CVMe$ ), que são os mais considerados pelo produtor na tomada de decisão, contraindo o produtor prejuízos imediatos. Neste caso, por si só, a produção não se mantém. A decisão de manter a produção só ocorrerá se houver subsídio à atividade.

As produtividades obtidas com esses cultivos de sequeiro ou irrigados de maior restrição hídrica (A0E0, A1E1, A2E1, A3E1 e A1E5) foram inferiores ao potencial produtivo da cultivar de 2.000 kg ha<sup>-1</sup>, porém, semelhantes à realidade do cultivo de sequeiro nacional e regional, para as condições de cultivo da mamona na região da Zona da Mata e do Sul de Minas, conforme Silva et al. (2010a), que apontaram para a necessidade de aumento da produtividade da cultura. Nessas condições de preço e custo de produção da mamona, somente seria rentável economicamente se a produção de sequeiro atingisse patamares superiores a 1.526 kg ha<sup>-1</sup> ou ao potencial produtivo da cultivar. Silva et al. (2010a), em estudo da eficiência econômica e energética da cultura da mamona nas regiões da Zona da Mata e do Sul de Minas, safra 2005/2006, constataram que as variáveis preço e produtividade foram as mais sensíveis para os produtores da Zona da Mata, enquanto, no Sul de Minas, foi a produtividade. Observaram que o preço médio recebido (R\$0,78/kg) cobriu os custos médios de produção, contudo, esses custos médios nessas regiões estiveram acima do preço mínimo (R\$0,56/kg). Dessa forma, esses resultados do cultivo apontam para a importância da quantidade e da distribuição da água das chuvas e/ou irrigação e a necessidade de elevação da produtividade média nacional da cultura, conforme já indicado por diferentes autores (BRAGA; KHAN; MAYORGA, 2008; DIAS et al., 2008; LIMA et al., 2011; SANTANA et al., 2009; SILVA et al., 2009; SILVA et al., 2010a; 2010b; VAZ; SAMPAIO; SAMPAIO, 2010). Por isso, torna-se interessante analisar, além do custo de produção e da possibilidade de

novos cenários de preço mínimo, considerar também a capacidade técnica produtiva da cultura com o uso da irrigação.

Na Tabela 10 estão indicados os percentuais dos custos fixos e variáveis total da produção sob cultivo de sequeiro (CFTs e CVTs) e com o cultivo irrigado (CFTi e CVTi), em relação ao custo total com (CT) ou sem irrigação (CTs). Para o cultivo de sequeiro, os custos variáveis (CVTs) representaram, aproximadamente, 79% do custo total (CTs = R\$1.171,18/ha), sendo 70% referentes aos gastos com mão de obra (serviços) e 9% com insumos, e, dos 21% restantes do custo fixo total (CFTs), 17% corresponderam aos gastos com o arrendamento (aluguel) da terra, 3% com máquinas e equipamentos e 1% com ITR, tomando como referência informações de Silva et al. (2009).

TABELA 10 Percentagem média dos custos fixos e variáveis da produção de mamona sob cultivo de sequeiro E0 (CFTs e CVTs) e da produção sob cultivo irrigado (CFTi e CVTi) com suspensão da irrigação nos estádios E1, E2, E3, E4 e E5, ambos em relação ao custo total, com ou sem a irrigação (CT). Lavras, MG, 2011\*

Ei	CFTs (%)	CVTs (%)	CFTi (%)	CVTi (%)	CT (R\$/ha)
E0	20,78±0,00	79,22±0,00	0,00	0,00	1171,18±0,00
E1	13,75±0,09	49,70±0,31	27,70±0,17	8,85±0,56	1845,88±11,42
E2	13,43±0,25	48,58±0,90	27,07±0,50	10,92±1,65	1889,04±34,90
E3	13,14±0,40	47,52±1,44	26,48±0,80	12,86±2,64	1931,77±58,38
E4	12,94±0,49	46,79±1,79	26,08±1,00	14,19±3,28	1962,50±74,88
E5	12,84±0,54	46,44±1,96	25,88±1,09	14,84±3,59	1977,86±83,26
Média	13,22±0,19	47,81±0,68	26,64±0,38	12,33±1,25	1921,41±28,02

\* percentuais médios dos custos fixos (CFTs) e variáveis (CVTs) da produção sob cultivo de sequeiro (E0) e da produção sob cultivo irrigado (CFTi e CVTi) com diferentes lâminas desdobradas dentro das épocas de suspensão da irrigação (A:E1, A:E2, A:E3, A:E4 e A:E5), ambos os percentuais em relação ao custo total de produção com ou sem irrigação (CT). CT é o custo total médio obtido pela soma dos custos da produção de sequeiro (CTs) com os custos totais com irrigação (CTi). “±” é a variação dentro da margem de erro, a 5% de significância, pelo Teste t.

Já para os cultivos irrigados, em média, os custos variáveis (CVTi) corresponderam a 60% do custo total (R\$1.921,41/ha), dos quais 12% referem-

se aos gastos com a aplicação da lâmina de irrigação (CVTi) e, dos 40% restantes do custo fixo total (CFTi), 27% referiram-se aos gastos com a aquisição do sistema de irrigação (CFTi).

Diversas pesquisas realizadas para o cultivo de sequeiro apontam para a importância da utilização de mão de obra familiar na participação percentual nos custos totais e como fator primordial para se ter baixo custo de produção e um balanço energético mais elevado na produção de biodiesel (BRAGA; KHAN; MAYORGA, 2008; DIAS et al., 2008; SILVA et al., 2009; SILVA et al., 2010b). Silva et al. (2010b) constataram a maior participação da mão de obra familiar, seguido dos custos com insumos e gastos com máquinas e implementos, em 64%, 21% e 15%, respectivamente, destacando que o produtor não conseguiu cobrir o custo operacional médio com a receita obtida. Por outro lado, diversos são os trabalhos em que se aponta a viabilidade da irrigação localizada para um grande número de culturas, diferentemente da mamoneira (VILAS BOAS et al., 2011; SILVA; FARIA; REIS, 2003; BILIBIO et al., 2010). Entretanto, esses autores ressaltam que, embora compensador, o sistema irrigado exige maiores níveis de capitalização, em função dos elevados custos de implantação e condução da cultura irrigada (ESPERANCINI; PAES, 2005).

Com isso, torna-se interessante analisar, além da capacidade técnica produtiva da cultura irrigada, do custo de produção e da possibilidade de novos cenários de preço mínimo, considerar também a competitividade da cultura. Vaz, Sampaio e Sampaio (2010) investigaram a viabilidade econômica da produção familiar de mamona para a produção de biodiesel e sua competitividade em relação à soja e chegaram a importantes conclusões. Os autores apontaram para a necessidade de incrementos no nível de produtividade da cultura, a fim de incentivar maior participação da agricultura tradicional e dar condições de competitividade à soja. Corroborando os resultados desse trabalho,

esses autores indicaram que uma produção média próxima de 1 t/ha tornaria o plantio dessa oleaginosa viável para a maior parte dos agricultores. Contudo, segundo esses autores, para que o biodiesel (B100) proveniente da mamona seja mais competitivo que o de soja (R\$1,93/l de B100), assinalado como o mais apropriado para atender ao programa no âmbito nacional, o preço da mamona teria que ficar abaixo de R\$0,34/kg e produtividade acima de 1.326 kg ha<sup>-1</sup>. Nessas condições, a produtividade ao custo total de sequeiro (R\$1.171,18/ha) teria que alcançar patamares acima de 3.445 kg ha<sup>-1</sup> para se almejar lucro normal ( $Py = CTMe = 1.171,18/3.445 = R\$0,34/kg$ ). A esse preço, dada a produtividade média atual, a mamona não é atrativa para os produtores. A competitividade da mamona depende, assim, crucialmente, da elevação da produtividade média, a qual permite baixar o preço mínimo e confere competitividade relativa.

Os dados de custo total médio (CTMe) e produtividade total (PT) da Tabela 9 foram expressos na forma gráfica, obtendo-se bom ajuste de regressão com R<sup>2</sup> de 99,4% do modelo potencial, conforme a Figura 44. Nesse gráfico podem ser observadas várias situações e/ou cenários em que o binômio custo de produção e produtividade da cultura se relaciona com preços praticados e/ou prováveis de ocorrência no mercado.

Na Figura 44 observa-se que, para a condição de cultivo de sequeiro com custo total de R\$1.171,18/ha e preço atual de R\$1,13/kg (outubro de 2011), o lucro é obtido a partir de produtividades desse sistema superiores a 1.036 kg ha<sup>-1</sup>. Nessas condições, considerando cenários de maior eficiência produtiva desse sistema de cultivo familiar com produtividade igual ou maior que 1.700 kg ha<sup>-1</sup>, pode-se obter renda econômica (lucro) superior a um salário mínimo (R\$749,82/ha), entretanto, se considerarmos uma redução de preços no mercado, por exemplo, de R\$0,69/kg, a receita bruta empataria com os custos de produção e não haveria lucro para o produtor. Sob condições do cultivo irrigado em

pequenas áreas é possível obter produtividade de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> e, com isso, obter uma lucratividade de mais de dois salários mínimos (R\$1.468,59/ha), considerados os custos de produção e preço atuais (Py = R\$1,13/kg). Por outro lado, se, no período de produção e colheita, houver redução do preço para R\$0,50/kg e depois para R\$0,35/kg, então, a produtividade deve compensar essa redução, aumentando para patamares superiores a 4.000 kg ha<sup>-1</sup> e 5.800 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para que se almeje lucratividade na atividade.

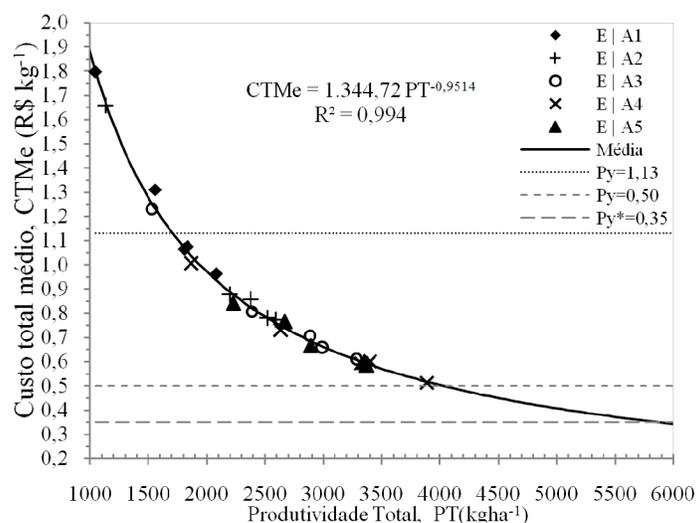


FIGURA 44 Custo total médio (CTMe), em função dos valores médios observados de produtividade total de grãos a 10%Ubu (PT) segundo desdobramentos das épocas de suspensão da irrigação (E) dentro das lâminas de água A1, A2, A3, A4, A5, curva de ajuste e níveis de preço da mamona (Py). Lavras, MG, 2011.

Vaz, Sampaio e Sampaio (2010) afirmam que, com base nos baixos preços mínimo e médio praticados e na baixa produtividade média observada na região nordeste do Brasil, entre 2004-06 (691,56 kg ha<sup>-1</sup>), de modo geral, o agricultor familiar não se sente inclinado a produzir mamona porque essas

condições não atendem às suas necessidades da renda média familiar e/ou à viabilidade econômica da atividade. Segundo esses autores, para que esse quadro se altere a esses preços (R\$0,50/kg e R\$0,59/kg), as produtividades requeridas para atender ao custo de oportunidade do agricultor familiar deveriam ser aumentadas para 901 e 764 kg ha<sup>-1</sup>, encontrando-se num patamar acima da média nacional (740 kg ha<sup>-1</sup>). Do contrário, ainda segundo esses autores, caso a produtividade caia abaixo da média observada, uma possibilidade muito concreta, em se tratando de região semiárida, o agricultor familiar só estaria acima do nível do custo de oportunidade se o preço fosse elevado acima de R\$0,65/kg na proporção da queda de produtividade. Por outro lado, caso o preço caia abaixo do mínimo estabelecido (R\$0,50/kg), o que ocorre frequentemente, o agricultor familiar receberia menos que o custo de oportunidade, caso a produtividade não se elevasse acima de 901,86 kg ha<sup>-1</sup>.

O entrave da consolidação da produção de mamona para biodiesel pode ser explicado pela teoria de assimetria de informação que, segundo Vaz et al. (2010), é estabelecida entre a oferta de mercado sinalizada com o número de produtores dispostos a produzir a um determinado preço e a esperada falta de informação por parte da indústria/governo quanto ao custo de oportunidade dos agricultores familiares, determinado com base na renda média familiar, produtividade das terras e ciclo produtivo da cultura. Esse custo de oportunidade, associado ao preço mínimo necessário para compensá-lo, é o que define, segundo os autores, o incentivo necessário para que os agricultores familiares se sintam incentivados a produzir mamona. Na produção de biodiesel a partir do óleo vegetal da mamoneira é importante que indústria e governo conheçam a capacidade produtiva e a renda média dos agricultores familiares que está associada ao custo de oportunidade desses agentes e, assim, possam definir os estímulos ao aumento da produtividade e ao preço que compense esse

custo. Destacam, ainda, Vaz, Sampaio e Sampaio (2010) que o ciclo da cultura muito longo entre o plantio e a colheita é uma assimetria de informação onerosa para o mercado.

## 5 CONCLUSÕES

Consideradas as condições experimentais em que se realizou este trabalho e as análises e discussões apresentadas, chegou-se às seguintes conclusões:

- 1) a caracterização dos estádios consecutivos E<sub>0</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub> foi adequada à definição das fases I, II, III e IV, encerradas ao atingir a fração de cobertura do solo ( $f_c$ ) de 10% (E<sub>0</sub>), antese da ordem secundária de inflorescência (E<sub>2</sub>), maturação da ordem secundária (E<sub>4</sub>) e terciária de frutos (E<sub>5</sub>), respectivamente;
- 2) as lâminas A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub> e A<sub>5</sub> de 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da lâmina de referência (A<sub>3</sub>) corresponderam aos respectivos níveis de esgotamento de água no solo ( $f$ ) de 0,81; 0,67; 0,52; 0,43 e 0,33, destacando-se, entre estes, com máxima produtividade e capacidade evapotranspirométrica da cultura (ET<sub>c</sub>), o fator  $f$  de 0,43, à tensão crítica de 14kPa;
- 3) a ET<sub>c</sub> média dos estádios E<sub>0</sub>, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub> de 1,1 mm d<sup>-1</sup>, 1,9 mm d<sup>-1</sup>, 2,5 mm d<sup>-1</sup>, 3,3 mm d<sup>-1</sup>, 3,4 mm d<sup>-1</sup> e 2,7 mm d<sup>-1</sup>, correspondentes aos respectivos coeficientes da cultura (K<sub>c</sub>) médios de 0,45; 0,87; 0,87; 0,87; 0,80 e 0,66, evoluíram à taxas crescentes com as lâminas, com ET<sub>c</sub> máxima à lâmina A<sub>5</sub> e a taxas decrescentes com o aumento das consecutivas épocas suspensão da irrigação, observadas as maiores taxas em E<sub>3</sub> e E<sub>4</sub> associadas às lâminas A<sub>4</sub> e A<sub>5</sub>;
- 4) as curvas do índice de área foliar (IAF) obtidas pelos diferentes métodos de amostragens destrutiva e não destrutiva se mostraram coerentes com os vários estádios fenológicos da cultura, precisos e promissores para a estimativa desse índice, destacando-se os métodos indiretos que utilizaram medidas com régua,

fotografias digitais, contagem de folhas e amostragem simples de três folhas por estrato ou apenas uma folha do estrato médio da planta pode ser suficiente;

5) o aumento dos fatores água e época de suspensão da irrigação afetou de forma independente o desenvolvimento vegetativo, as componentes de produção e as produtividades da cultura, por ordem de racemos de forma linear e/ou quadrática crescente, exceto altura de planta (HP), que expressou interação desses dois fatores;

6) as variáveis HP, fc, IAF, número de ramificações laterais (NPR), número de folhas maduras e juvenis foram afetadas pelo fator água e/ou época de suspensão da irrigação, observando-se a máxima expressão da parte vegetativa da planta com a máxima lâmina e época de suspensão da irrigação (A5E5);

7) a fase intermediária, III, entre os estádios de antese e maturação secundária (E2 a E4), de forma geral, foi a mais afetada pelos níveis dos fatores estudados;

8) o máximo IAF atingido na fase III (E3) com a lâmina A4 correspondeu a 69% do IAF da cultura de referência da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), enquanto a fração de cobertura do solo atingiu máximo de 85%, indicando possibilidade de aumento desse índice e/ou da população de plantas;

9) as porcentagens de grãos chochos primários e secundários foram afetadas pelos fatores água e época e reduziram-se linearmente com o aumento desses. A porcentagem total de grãos chochos nos cultivos de sequeiro, em média, foi o dobro da obtida nos cultivos irrigados;

10) as produtividades por ordem de racemos aumentaram com aumento da lâmina de água e época de suspensão da irrigação, observado o efeito quadrático para o aumento desta e, para o aumento daquela, o efeito quadrático para a produtividade secundária e total;

11) a produtividade primária, secundária e terciária em relação à total (PT) se manteve, nos tratamentos irrigados, nas respectivas proporções de 37%, 54% e

9%, e a máxima PT média de 3.882 kg ha<sup>-1</sup> foi obtida com lâmina de 460 mm, resultante de A4E4 de fração f de 0,43 e irrigação suspensa no estágio de maturação secundária (E4);

12) o teor de óleo da mamona aumentou com as épocas de suspensão da irrigação segundo o modelo quadrático, tendo o valor máximo de 43,9% sido obtido com a suspensão no estágio E3 superior em 5% e em 4% aos valores mínimos obtidos com a suspensão da irrigação nos estádios E1 e E5;

13) conforme a superfície de resposta dos fatores água e época, as produtividades, por ordem de racemo e total da cultura, tiveram efeitos lineares e quadráticos mais pronunciados em relação às épocas de suspensão da irrigação do que em relação às lâminas de água;

14) as maiores lucratividades foram obtidas com a irrigação sob o manejo da fração f de 0,43 (A4) associada às épocas E3, E4 e E5, com relação benefício/custo de 1,91; 2,19 e 1,90 vezes cada unidade de capital empregado;

15) a lucratividade máxima de R\$2.386,44/ha, segundo a relação benefício/custo de 2,19 unidades para cada unidade de capital investido, foi atingida com a produtividade total de 3.882 kg ha<sup>-1</sup>, obtida com o fatorial A4E4;

16) a máxima eficiência econômica, variável com a produtividade, custos e relação de preços fator-produto, não se distinguiu da máxima eficiência técnica que, à semelhança de A4E4, foi obtida com lâmina ótima de 470 mm e suspensão da irrigação no estágio E4, maior produção total de 3.582 kg ha<sup>-1</sup>, ao custo de R\$2.011,06/ha e relação benefício/custo de 2,01 unidades para cada unidade de capital empregada;

17) com produtividade de 1.556 kg ha<sup>-1</sup> obtida com mão de obra familiar no sistema de cultivo de sequeiro, mantidos os custos de produção e o atual preço mínimo de R\$1,13/kg, acordado pelo Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), é possível obter lucratividade de R\$587,69/ha. Contudo,

no atual patamar do sistema produtivo, produtividade e lucratividade, não se têm perspectivas de competitividade e atratividade da cultura, a médio e a longo prazo;

18) mantidas as condições de cultivo, além do custo total de produção e do preço atual da mamona, foi rentável o manejo da irrigação com a suspensão E1, combinada às maiores lâminas A4 e A5 e/ou suficientes para manter a fração  $f$  entre 0,43 e 0,33. Por outro lado, também foi lucrativo o manejo das menores lâminas de água de A1 a A3 e/ou suficientes para manter a fração  $f$  entre 0,52 e 0,81 (A1 a A3), quando associadas às suspensões da irrigação entre E2 e E4;

19) o custo total de produção no cultivo de sequeiro (cuja composição de 70, 17, 9, 3 e 1% gastos com mão de obra familiar, arrendamento da terra, insumos, máquinas-equipamentos e imposto territorial, respectivamente) correspondeu, em média, a 61% do custo total do cultivo irrigado cuja composição de gastos, em média, foi de 60%, referente aos custos variáveis, dos quais 12% foram relativos à aplicação da lâmina de irrigação e, dos 40% resultantes dos custos fixos, 27% referiram-se aos gastos com a aquisição do sistema de irrigação;

20) a produtividade e a lucratividade do cultivo da mamoneira podem ser elevadas com o uso da irrigação, podendo garantir rentabilidade ao produtor e/ou a permanência de sua família no meio rural, atentando-se para as informações disponibilizadas neste e em outros estudos relacionadas ao custo de produção da cultura irrigada, ao investimento inicial no sistema de irrigação, à tecnologia de condução da cultura e ao manejo adequado da irrigação.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P.; KLAR, A. E.; GOMIDE, R. L. Estimativa da evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função do índice de área foliar e da evaporação da água do tanque Classe A. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 183-187, 1997.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

AMARAL, J. A. B do; SILVA, M. T.; BELTRÃO, N. E. de M. **Zoneamento agrícola da mamona no Nordeste Brasileiro safra 2005-2006. Estado da Bahia**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 8 p. (Comunicado Técnico, 256).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de et al. Coeficientes de cultivo da mamoneira em sistema monocultivo e consorciado com feijão-caupi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA MAMONA, 3., 2008, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 1 CD-ROM.

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, maio 1996.

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142 p.

ARAÚJO, L. C. de et al. Development of maize and palisadegrass plants cultivated in intercrop under water deficit. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, n. 7, p. 1397-1404, jul. 2011.

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

AZEVEDO, D. M. P. de et al. Manejo cultural. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. Cap. 6, p. 121-160.

AZEVEDO, C. L. L. et al. **Sistema de produção de citros para o Nordeste.** Recursos Hídricos e Irrigação. (Sistemas de Produção, 16). Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosNordeste/irrigacao.htm>>. Acesso em: 5 set. 2010.

BARROS JUNIOR, G. et al. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 350–355, 2008.

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

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

BELTRÃO, N. E. de M. et al. Ecofisiologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil.** 2. ed. rev. e ampl. Campina Grande: Embrapa Algodão/Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 45-72.

BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P.; FIDELES FILHO, J. **Estimativa da respiração de uma comunidade de plantas, via valores primários (área foliar e fitomassa).** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008 (Circular Técnica).

BELTRÃO, N. E. de M. et al. Estimativa da produtividade primária e participação de assimilados na cultura da mamona no semi-árido brasileiro. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 9, n. 1/3, p. 925-930, jan./dez. 2005.

BELTRÃO, N. E. de M. et al. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. Cap. 2, p. 37-62.

BELTRÃO, N. E. de M. Mamoneira e seu cultivo no nordeste brasileiro: excelente opção para a agricultura familiar, em especial no Estado da Paraíba. **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 4, n. 2, p. 21-22, 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, v. 1, n. 1, p. 73-79, 1997.

BELTRÃO, N. E. de M. **Sistema de produção de mamona em condições irrigadas**: considerações gerais. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 14 p. (Comunicado Técnico, 132).

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

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

BERGAMASCHI, H. **Fenologia**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. (Texto Didático).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 611 p.

BILIBIO, C. et al. Função de produção da berinjela irrigada em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 10-22, 2010.

BRAGA, F. L. P.; KHAN, A. S.; MAYORGA, R. D. Balanço econômico da produção de mamona e balanço energético da obtenção de biodiesel no Estado do Ceará. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008. v. 1, p. 1-19.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola Departamento de Gestão de Risco Rural. Coordenação Geral de Zoneamento Agropecuário. **Zoneamento Agrícola para a cultura de mamona no Estado da Bahia, ano-safra 2006/2007**. Portaria nº 145, de 18 de julho de 2006. Disponível em: <[www.seagri.ba.gov.br/Zoneamento-Mamona\\_definitivo.pdf](http://www.seagri.ba.gov.br/Zoneamento-Mamona_definitivo.pdf)>. Acesso em: 5 set. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Normais climatológicas:1961-1990**. Brasília, 1992. 84 p.

BRASIL. Ministério da Irrigação. Programa Nacional de Irrigação. **Tempo de irrigar**: manual do irrigante. São Paulo: Mater, 1987. 160 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel**. Selo combustível social. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/selo>>. Acesso em: 30 out. 2008.

BRÉDA, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 392, p. 2043-2417, Nov. 2003.

CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación**. 3. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 513 p.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra de caracteres em híbridos de mamoneira. **Ciência Rural**, v. 40, p. 280-287, 2010.

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

CARVALHO, L. G. de; SAMPAIO, S. C.; SILVA, A. M. da. Determinação da umidade na campo *in situ* de um Latossolo Roxo Distrófico. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 7, n. 1, p. 1-97, dez. 1996.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos, nono levantamento, junho 2010. Brasília: MAPA, 2010. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/9graos\\_8.6.10.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/9graos_8.6.10.pdf)>. Acesso em: 30 jun. 2010.

CORRÊA, M. L. P.; SILVA, C. S. A. dos S.; TAVORA, F. J. A. F. Rendimento e uso eficiente da terra de duas cultivares de mamona consorciadas com sorgo granífero e caupi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 1., 2004, Varginha. **Anais...**Varginha: UFLA, 2004.

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

DAÍ, 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**, Rockville, v. 99, n. 4, p. 1426-1434, Feb. 1992.

DIAS, J. M. et al. Eficiência econômica da mamoneira precoce, cultivar BRS ENERGIA, sob diferentes regimes de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOURADO NETO, D. et al. **Programa SWRC: soil-water retention curve**. Version 1.00. Piracicaba: ESALQ; Davis/University of Califórnia, 1995. Software.

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

ESPERANCINI, S. T. M.; PAES, A. R. Análise investimentos da produção de café nos sistemas irrigado e convencional, na região de Botucatu, Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 35, n. 4, p. 52-60 abr. 2005.

FANAN, S. et al. Descrição de características agronômicas e avaliação de épocas de colheita na produtividade da mamoneira cultivar IAC 2028. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 415-422, 2009.

FERGUSON, C. E. **Teoria micro-econômica**. 11. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1988. 609 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

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

FREIRE, R. M. M.; SEVERINO, L. S. Óleo de Mamona. In: SEVERINO, L. S.; MILANI, M.; BELTRÃO, N. E. M. **Mamona: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. p. 243-248.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Planejamento da irrigação: análise de decisão de investimento**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. v. 1, 627 p.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação**. 1986. 133 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1986.

FRIZZONE, J. A.; OLLITA, A. F. L.; PEREIRA, G. T. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação. Região de produção racional. **ITEM: irrigação e tecnologia moderna**, Brasília, n. 28, p. 26-32, mar. 1987.

GALVANI, E. et al. Estimativa do índice de área foliar e da produtividade de pepino em meio protegido: cultivos de inverno e de verão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 8-13, 2000.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 4, p. 892-898, July/Aug. 1980.

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.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill) em diferentes arranjos espaciais**. 2002. 151 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

KOTZ, T. E. **Crescimento e produtividade da mamoneira IAC 2028 na safrinha em função da população de plantas em espaçamento reduzido**.

2012. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012.

LEME, E. A. J.; MANIERO, M. A.; GUIDOLIN, J. C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e a relação com a produtividade. **Cadernos Planalsucar**, Piracicaba, v. 2, p. 3-9, mar. 1984.

LESSA, L. S. **Avaliação agronômica, seleção simultânea de caracteres múltiplos em híbridos diplóides (aa) e desempenho fisiológico de cultivares de bananeira**. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)-Universidade Federal da Bahia. Centro de Ciências Agrárias e Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, 2007.

LIMA, J. F.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A da S. Índices fisiológicos e crescimento inicial de mamoeiro (*Carica papaya L.*) em casa de vegetação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p.1358-1363, 2007.

LIMA, N. R. C. B. et al. Critical periods of sorghum and palisadegrass in intercropped cultivation for climatic risk zoning. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, p. 1452-1457, 2011.

LIMA FILHO, O. F. de; VALOIS, A. C. C.; LUCAS, Z. M. **Análise quantitativa do crescimento da estévia**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 27 p. (Documentos).

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

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise quantitativa do crescimento vegetal. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. Piracicaba, v. 42, p. 401-428, 1984.

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

MARCON, M. **Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de um cafeeiro por meio de análise de imagens**. 2009. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para

diferentes intervalos de tempo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 513-519, out./dez. 2004.

MELLO, C. R. de et al. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 836-841, 2002.

MENDONÇA, J. C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MILANI, M.; MIGUEL JÚNIOR, S. R.; SOUSA, R. de L. **Sub-espécies de mamona**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. (Documentos, 230).

MONTEIRO, J. V. **Produtividade da mamoneira ‘Al Guarany 2002’ (*Ricinus communis* L.) em função de diferentes arranjos populacionais**. 2005. 89 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

OLIVEIRA, L. B. Biodiesel-combustível limpo para o transporte sustentável. In: RIBEIRO, S. K. (Coord.). **Transporte sustentável: alternativas para ônibus urbanos**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2001.

OLIVEIRA, S. L. **Função de resposta do milho doce ao uso de irrigação e nitrogênio**. 1993. 91p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.

PARENTE, E. J. S. **Processo de produção de combustíveis a partir de frutos ou sementes oleaginosas: biodiesel**, 1980. Patente: privilégio de inovação. PI8007957. 14 jun. 1983, 08 out.1983.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V. da; PEIXOTO, M. F. S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e práticas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011.

PEIXOTO, C. P. et al. Índices fisiológicos de cultivares de mamoneira nas condições agroecológicas do recôncavo baiano. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 22, p. 168-177, 2010.

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

PROCÓPIO, S. O. et al. Desenvolvimento foliar das culturas da soja e do feijão e de plantas daninhas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 207-211, 2003.

REIS, R. P. **Fundamentos de economia aplicada**. 2. ed. rev. ampl. Lavras: UFLA/FAEPE, 2007. 95 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. Sugestões de adubação para grandes culturas anuais ou perenes. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 169-257.

RIOS, G. F. A. **Balanco de energia solar na cultura da mamoneira irrigada**. 2009. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)—Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

RIOS, G. F. A. et al. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da mamoneira na microrregião de Lavras, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1275–1282, 2011a.

RIOS, G. F. A. et al. Avaliação de modelos de estimativa da área foliar da mamona com o uso de medidas simples. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 21., 2011, Petrolina. **Anais...** Petrolina: CONIRD/ABID, 2011b.

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

RODRIGUES FILHO, A. **A cultura da mamona**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2000. 20 p. (Boletim Técnico).

RODRÍGUEZ, R. et al. A process-based model to evaluate site quality for *Eucalyptus nitens* in the Bio-Bio Region of Chile. **Forestry**, v. 82, n. 2, p. 149-162, 2009.

SAMPAIO, S. C. et al. Estudo da precipitação efetiva para o município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 210-213, 2000.

SANTANA, M. J. de et al. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 532-538, 2009.

- SANTOS, R. F. dos et al. Análise econômica. In: AZEVEDO, D. M. P. DE; LIMA, E. F. **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão/Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 17-35.
- 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. et al. IAC-2028: nova cultivar de mamona. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 449-452, mar. 2007. (Novas Cultivares).
- SAVY FILHO, A. et al. **Variedades de mamona do Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 12 p. (Boletim Técnico, 183).
- SAVY FILHO, A. **Mamona**. Campinas: Instituto Agronômico, 2003. 4 p. (Folheto).
- SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, p. 63-120.
- SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-7, jan./jun. 1996.
- SEVERINO, L. S. et al. **Descrição das fases do desenvolvimento reprodutivo da mamoneira visando ao manejo da colheita**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. (Circular Técnica, 115).
- SEVERINO, L. S. et al. **Fatores de conversão do peso de cachos e frutos para peso de sementes de mamona**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 15 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 56).
- SEVERINO, L. S. et al. Método para determinação da área foliar da mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 753-762, 2004.
- SILVA, A. L.; FARIA, M. A. de; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 37-44, 2003.

SILVA, A. M. da; COELHO, G.; SILVA, R. A. da. Épocas de irrigação e parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro, em quatro safras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 314-319, 2005.

SILVA, E. M. da et al. Manejo de irrigação para grandes culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 239-280.

SILVA, G. H.; ESPERANICINI, M. S. T.; BUENO, O. C. **Eficiência econômica e energética de sistemas de produção de mamona no Estado de Minas Gerais: energia na agricultura.** Botucatu: UNESP, 2010a. v. 25, p. 1-25. CD-Rom.

SILVA, G. H. et al. Custo de produção e rentabilidade da mamona na região oeste paranaense. **Informações Econômicas**, v. 39, v.1, p. 85-92, 2009.

SILVA, G. H. et al. Estimativa do custo de produção e receita da mamona nas regiões Oeste e Centro Ocidental do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010b. v. 1, p. 369-374.

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. 6 p. (Comunicado Técnico, 112).

SILVA, S. D. A. E.; AIRES, R. F.; CASAGRANDE JR., J. G. **Épocas de semeadura de mamona no Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. p. 1-20. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 76).

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 311-348.

SIMÕES, W. L.; FIGUEIREDO, V. B.; SILVA, E. L. Uso do cilindro infiltrômetro único em diferentes solos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 25, n. 2, p. 359-366, 2005.

- SOARES, W. R. et al. Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento ( $K_{c_{ini}}$ ) à lâmina de irrigação e textura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 23-27, jan./abr. 2001.
- SOUSA, P. S. de et al. Eficiência do uso da água pela mamoneira sob diferentes lâminas de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA MAMONA, 3., 2008, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 1 CD-ROM.
- STEDUTO, P. et al. *AquaCrop*-the FAO crop model to simulated yield response to water: concepts and underlying principles. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, p. 426-437, 2009.
- TÁVORA, F. J. A. F. **A cultura da mamona**. Fortaleza: EPACE, 1982. 111 p.
- UNIÃO BRASILEIRA DO BIODIESEL. **Boletim Informativo**. 7. ed. Brasília, 2012.
- VASCONCELOS, M. A. C. de. **Informações sobre o cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.)**. Fortaleza: EMATECE, 1990. 19 p.
- VAZ, P. H. P. M.; SAMPAIO, Y. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Análise da competitividade da mamona e da soja para produção de biodiesel no nordeste do Brasil. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 57, p. 35-48, 2010.
- VILAS BOAS, R. C. et al. Desempenho de cultivares de cebola em função do manejo da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 117-124, 2011.
- WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. 1. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v. 11, p. 41-76, 1947.
- WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 4, p. 101-144, 1952.
- WEISS, E. A. **Oilseed crops**. New York: Longman, 1983. 660 p.

## ANEXOS

ANEXO	Página
TABELA 1A Variáveis das condições meteorológicas e de manejo da irrigação. Valores acumulados (Ac) ou médios (méd) por semana ou épocas de suspensão da irrigação (E1, E2, E3, E4 e E5), dias após a semeadura (DAS). Lavras, MG, 2011 .....	182
TABELA 2A Análise de variância (ANAVA) das variáveis vegetativas de altura de planta, número de ramos laterais e área foliar unitária por estratos, em função das lâminas de água (A), épocas de suspensão da irrigação (E) e tempos de avaliações ao longo do ciclo da cultura (T) na subparcela. Lavras, MG, 2011 .....	183
TABELA 3A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de altura de planta, número de ramos laterais e área foliar unitária, por estratos, em função das lâminas de água (A) e das épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	183
TABELA 4A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de altura de planta, número de ramos laterais e área foliar unitária por estratos, para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das lâminas de água (A). Lavras, MG, 2011 ..	184
TABELA 5A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de altura de planta, número de ramos laterais e área foliar unitária por estratos, para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	185
TABELA 6A Análise de variância da regressão (ANOVA) da altura de planta para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	186
TABELA 7A Análise de variância da regressão (ANOVA) da altura de planta para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	187
TABELA 8A Valores médios observados de altura de planta ao longo do tempo de ciclo (T, ver Tabela 9A) para o estudo dentro de lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	188

TABELA 9A Valores médios observados de altura de planta ao longo do tempo de ciclo (T, ver Tabela 8A) para o estudo dentro de lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	189
TABELA 10A Análise de variância (ANAVA) das variáveis vegetativas de número de folhas, índice de área foliar e fração de cobertura do solo, em função das lâminas de água (A), épocas de suspensão da irrigação (E) e dos tempos de avaliações, ao longo do ciclo da cultura (T) na subparcela. Lavras, MG, 2011 .....	190
TABELA 11A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de números de folhas, índice de área foliar e fração de cobertura do solo, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	191
TABELA 12A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de números de folhas, índice de área foliar e fração de cobertura do solo para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das lâminas de água (A). Lavras, MG, 2011 .....	192
TABELA 13A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de números de folhas, índice de área foliar e fração de cobertura do solo para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	193
TABELA 14A Análise de variância (ANAVA) das produtividades de grãos por ordem e total, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	194
TABELA 15A Análise de variância (ANAVA) das componentes de produção número de racemos por planta, porcentagem total de grãos chochos, teor de água e óleo dos grãos, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E), Lavras, MG, 2011 .....	194
TABELA 16A Análise de variância da regressão (ANOVA) do número de racemos por planta, porcentagem total de grãos chochos, teor de óleo e produtividade total de grãos, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	195
TABELA 17A Análise de variância da regressão (ANOVA) do número de racemos por planta, porcentagem total de grãos chochos, teor de óleo e produtividade total para o estudo das lâminas	

	de água (A) dentro das épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	196
TABELA 18A	Análise de variância da regressão (ANOVA) do número de racemos por planta, porcentagem total de grãos chochos, teor de óleo e produtividade total para o estudo das épocas de suspensão da irrigação (E) dentro das lâminas de água (A). Lavras, MG, 2011 .....	197
TABELA 19A	Valores médios observados do número de racemos por ordem por planta e do teor de óleo dos grãos, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	198
TABELA 20A	Valores médios observados de porcentagem de grãos chochos por ordem de racemos, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	198
TABELA 21A	Valores médios observados de produtividade de grãos por ordem de racemos, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011 .....	199

TABELA 1A Variáveis das condições meteorológicas e de manejo da irrigação. Valores acumulados (Ac) ou médios (méd) por semana ou épocas de suspensão da irrigação (E1, E2, E3, E4 e E5), dias após a semeadura (DAS). Lavras, MG, 2011

DAS*	DATA	Tm	UR	n/N	ETo	ETc	ETr	Kc	P	Pe	LBI	NI	TR	Lmi
dias	dia/mês	°C	%	%	mm	mm	mm	adm	mm	mm	mm	und	dias	mm
38-103	21/4-25/6	17,8	72,4	68,1	163,6	73,8	70,4	0,46	69,8	45,5	120,0	10,0	5,6	12,9
110	2/7	16,5	75,3	69,8	14,0	12,2	11,4	0,81	1,0	1,0	12,2	4,0	1,3	3,1
120	12/7	16,3	68,5	69,2	22,2	19,3	17,2	0,78	0,0	0,0	17,8	2,0	6,0	8,9
E1	sub-tot	16,4	71,9	69,5	36,2	31,5	28,6	0,79	1,0	1,0	30,0	6,0	3,2	6,0
127	19/7	17,8	60,7	86,6	18,8	16,4	15,4	0,82	0,0	0,0	8,4	2,0	2,7	4,2
134	26/7	17,7	68,1	58,1	18,0	15,7	14,4	0,80	0,0	0,0	17,8	2,0	4,0	8,9
141	2/8	18,8	59,6	73,9	21,0	18,3	16,2	0,77	0,0	0,0	17,8	2,0	4,0	8,9
149	10/8	18,6	63,6	84,2	24,9	21,6	18,3	0,74	11,4	8,5	17,8	2,0	4,5	8,9
E2	sub-tot	18,2	63,0	75,7	82,7	72,0	64,3	0,78	11,4	8,5	61,7	8,0	3,6	7,7
156	17/8	19,0	57,9	81,2	23,5	20,4	18,8	0,80	0,0	0,0	8,9	1,0	4,0	8,9
163	24/8	19,8	56,6	79,3	25,5	22,2	18,6	0,73	0,0	0,0	19,8	2,0	4,5	9,9
170	31/8	21,1	54,4	82,5	28,0	24,4	21,0	0,75	0,0	0,0	10,9	1,0	6,0	10,9
177	7/9	18,8	45,7	88,8	29,4	25,6	23,1	0,78	0,2	0,2	21,9	2,0	4,5	10,9
E3	sub-tot	19,7	53,6	82,9	106,5	92,6	81,5	0,8	0,2	0,2	61,6	6,0	4,7	10,2
184	14/9	21,7	56,4	62,7	29,7	25,0	22,1	0,74	0,0	0,0	10,9	1,0	5,0	10,9
191	21/9	18,4	55,1	66,0	28,1	22,3	20,3	0,72	0,0	0,0	10,9	1,0	5,0	10,9
196	26/9	20,7	56,0	66,2	22,7	17,1	14,8	0,65	0,4	0,4	21,9	2,0	4,0	10,9
E4	sub-tot	20,3	55,9	65,0	80,5	64,4	57,2	0,71	0,4	0,4	43,8	4,0	4,8	10,9
203	3/10	22,8	54,0	74,7	33,5	23,8	22,3	0,66	37,0	10,8	10,9	1,0	4,0	10,9
210	10/10	21,5	65,7	59,3	30,3	20,0	18,7	0,62	0,8	0,6	10,9	1,0	10,0	10,9
220	20/10	20,5	76,5	34,8	33,7	20,2	19,7	0,59	77,6	17,3	0,0	0,0	11,0	0,0
E5	sub-tot	21,6	65,4	56,3	97,5	64,0	60,6	0,62	115,4	28,7	21,9	2,0	8,3	10,9
Ciclo	Ac/méd	19,0	63,7	69,6	566,9	398,3	362,6	0,69	198,2	84,2	338,9	36,0	5,0	9,8

Temperatura média diária (Tm), umidade relativa média diária (UR), razão de insolação (n/N), evapotranspiração de referência (ETo), da cultura (ETc) e real (ETr); coeficiente de cultura médio estimado (Kc = ETr/ETo), precipitação pluvial (P) e efetiva (Pe); lâmina bruta de irrigação aplicada no tratamento referência A3E5 (LBI), número de irrigações (NI), turno de rega (TR) e lâmina média por irrigação (Lmi). \*O período de 1 a 37 DAS (15/março a 20/abril) correspondeu à etapa de formação de mudas e, entre os 38 e 100 DAS (21/abril a 22/junho), à etapa de estabelecimento da cultura no campo, seguida da etapa de diferenciação dos tratamentos realizada a partir dos 103 DAS (25/maio). Nas duas últimas linhas das épocas de suspensão E1 e E5, os dados foram computados pela média ou acumulado decendial. Tm, UR, n/N, ETo e P medidas de dados obtidos da Estação Climatológica Principal ECP, em Lavras, MG. ETr, Pe, LBI, NI, TR e Lmi medidas determinadas com dados mensurados na própria área experimental.

TABELA 2A Análise de variância (ANAVA) das variáveis vegetativas de altura de planta, número de ramos laterais e área foliar unitária por estratos, em função das lâminas de água (A), épocas de suspensão da irrigação (E) e tempos de avaliações ao longo do ciclo da cultura (T) na subparcela. Lavras, MG, 2011

FV	GL	QUADRADO MÉDIO				
		HP	NPR	Ai	Am	As
Bloco	2	90,52n	0,91n	70495n	7857,83n	10288,65n
Trat	25	4647,31**	0,9*	841917,25**	494509,05**	207883,48**
Fat xTes	1	49806,79**	9,23**	12336184,73**	7217360,58**	3206194,81**
A	4	4293,68**	1,26n	636053,65*	294388,35*	117236,98n
E	4	4299,20**	0,67n	365774,56n	375284,73*	166899,66*
AxE	16	2000,28*	0,35n	294027,10n	154167,08n	53396,61n
Erro-a	50	957,24	0,51	189736,42	104761,48	49408,85
T	17	52289,50**	9,99**	3406101,62**	2058326,44**	941219,24**
Erro-b	34	125,17	0,14	49946,74	41460,42	47862,12
Trat xT	425	161,01**	0,08*	35471,89**	28912,69**	15433,98**
Fat xTes xT	17	1076,21**	0,37**	80363,82**	56159,84**	23085,63**
AxT	68	260,48**	0,13**	59779,00**	52033,37**	20658,56**
ExT	68	238,28**	0,08n	51701,98**	42285,23**	19676,48**
AxExT	272	59,63*	0,05n	22531,85n	18086,44n	12588,99n
Erro-c	850	46,31	0,07	22838,15	15489,48	10512,18
Total	1403	830,5	0,22	88927,75	56644,1	29088,34
CV-a	%	51,93	168,23	66,37	61,76	61,25
CV-b	%	18,78	87,65	34,05	38,85	60,28
CV-c	%	11,42	60,86	23,03	23,75	28,25

Altura de planta (HP), número de plantas com ramos laterais (NPR), área foliar unitária do estrato inferior (Ai), médio (Am) e superior (As), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), fatorial dos fatores A e E (Fat), testemunha (Tes), tempos de avaliações (T) em dias após a semeadura (DAS), e coeficientes de variação (CV-a, CV-b e CV-c); \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NPR transformados  $\text{Arcsen}((x/100)^{0,5})$ .

TABELA 3A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de altura de planta, número de ramos laterais e área foliar unitária, por estratos, em função das lâminas de água (A) e das épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	GL	HP		NPR		Ai		Am		As	
		QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>
A	4	4293,68**		1,26n		636053,65*		294388,35*		117236,98n	
Linear	1	11663,81**	0,68	3,36*	0,67	2301846,29**	0,91	1016755,71**	0,86	410486,81**	0,88
Quadr.	1	152,08n	0,69	1,03n	0,87	45891,37n	0,92	83762,36n	0,94	11641,83n	0,90
Cúbico	1	547,74n	0,72	0,35n	0,94	23477,62n	0,93	65337,54n	0,99	31715,06n	0,97
Desv.Regr	1	4811,09*		0,31n		172999,32n		11697,80n		15104,24n	
E	4	4299,20**		0,67n		365774,56n		375284,73*		166899,66*	
Linear	1	14056,03**	0,82	1,92n	0,72	1367311,18*	0,94	1366679,02**	0,91	612666,04**	0,92
Quadr.	1	3078,52n	0,99	0,19n	0,79	77671,25n	0,99	6038,68n	0,92	15904,56n	0,94
Cúbico	1	0,01n	0,99	0,08n	0,81	16774,52n	1,00	56923,27n	0,95	7975,64n	0,95
Desv.Regr	1	62,23n		0,50n		1341,31n		71497,94n		31052,38n	
Erro-a	50	957,24		0,51		189736,42		104761,48		49408,85	

Altura de planta (HP), número de plantas com ramos laterais (NPR), área foliar unitária do estrato inferior (Ai), médio (Am) e superior (As), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>); \*\*, \*

e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NPR transformados  $\text{Arcsen}(x/100)^{0,5}$ .

**TABELA 4A** Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de altura de planta, número de ramos laterais e área foliar unitária por estratos, para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das lâminas de água (A). Lavras, MG, 2011

FV	GL	HP		NPR		Ai		Am		As	
		QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>
T:A1	17	7363,94**		1,86**		638764,19**		382581,29**		165946,17**	
Linear	1	108985,9**	0,87	19,51**	0,62	50782,88n	0,01	329824,17**	0,05	2384,67n	0,00
Quadr.	1	12099,85**	0,97	2,36**	0,69	9793814,95**	0,91	5594522,83**	0,91	2055772,65**	0,73
Cúbico	1	2277,05**	0,99	1,87**	0,75	438254,15**	0,95	2590,37n	0,91	53158,34n	0,75
Desv.Regr	14	130,3*		0,56**		41152,8n		41210,32*		50697,8**	
T:A2	17	8074,67**		1,39**		578044,9**		365521,96**		193813,6**	
Linear	1	128288,95**	0,94	14,66**	0,62	1945133,42**	0,20	2116427,23**	0,34	230014,3**	0,07
Quadr.	1	5870,79**	0,98	1,92**	0,70	6605154,91**	0,87	2760342,67**	0,79	2475000,85**	0,82
Cúbico	1	2355,17**	0,99	3,38**	0,84	157729,95*	0,89	9638,59n	0,79	1913,09n	0,82
Desv.Regr	14	53,9n		0,27**		79910,36**		94818,92**		41993,07**	
T:A3	17	12548,67**		2,08**		672423,06**		351490,05**		165606,73**	
Linear	1	198089,68**	0,93	21,14**	0,60	1550018,78**	0,14	1154616,41**	0,19	130813,4**	0,05
Quadr.	1	8673,72**	0,97	3,36**	0,69	8486332,01**	0,88	4050207,64**	0,87	2206161,28**	0,83
Cúbico	1	5323,19**	0,99	4,39**	0,82	651334,23**	0,94	97038,37*	0,89	34,02n	0,83
Desv.Regr	14	88,63n		0,46**		53107,64*		48104,88**		34164,69*	
T:A4	17	12966,84**		2,54**		892652,66**		596730,21**		234214,26**	
Linear	1	206373,84**	0,94	24,35**	0,56	3904417,45**	0,26	4781061,25**	0,47	601496,61**	0,15
Quadr.	1	6038,09**	0,96	4,66**	0,67	10075700,01**	0,92	3923183,88**	0,86	2566684,65**	0,80
Cúbico	1	7083,19**	0,99	6,6**	0,83	276609,62**	0,94	9879,07n	0,86	16373,69n	0,80
Desv.Regr	14	67,23n		0,54**		65597,73**		102163,52**		56934,82**	
T:A5	17	13250,72**		3,02**		914114,38**		604305,86**		276511,31**	
Linear	1	211769,65**	0,94	36,41**	0,71	4999794,32**	0,32	4510109,33**	0,44	663365,6**	0,14
Quadr.	1	6483,48**	0,97	2,64**	0,76	9686624,06**	0,95	3939819,39**	0,82	2932380,37**	0,77
Cúbico	1	5439,53**	0,99	4,29**	0,85	123961,32*	0,95	12040,21n	0,82	36018,99n	0,77
Desv.Regr	14	112,11*		0,57**		52111,77*		129373,62**		76351,95**	
Erro-b	34	125,17		0,14		49946,74		41460,42		47862,12	

Altura de planta (HP), número de plantas com ramos laterais (NPR), área foliar unitária do estrato inferior (Ai), médio (Am) e superior (As), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e T:A1, T:A2, T:A3, T:A4 e T:A5 são os desdobramentos nos tempos de avaliações (T), em dias após a semeadura (DAS), dentro de cada lâmina de água, A1, A2, A3, A4 e A5, respectivamente; \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NPR transformados  $\text{Arcsen}(x/100)^{0,5}$ .

TABELA 5A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de altura de planta, número de ramos laterais e área foliar unitária por estratos, para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	GL	HP		NPR		Ai		Am		As	
		QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>
T:E1	17	6616,36**		1,87**		790976,91**		426504,16**		193608,35**	
Linear	1	100140,36**	0,89	19,03**	0,60	304440,93**	0,02	450986,17**	0,06	945n	0,00
Quadr.	1	8659,58**	0,97	2,96**	0,69	12160522,05**	0,93	5948883,37**	0,88	2470054,43**	0,75
Cúbico	1	2280,95**	0,99	4**	0,82	307590,4**	0,95	327,94n	0,88	15448,75n	0,76
Desv.Regr	14	99,8n		0,41**		48146,72n		60740,95**		57492,41**	
T:E2	17	9890,68**		1,67**		745706,28**		433597,82**		225678,85**	
Linear	1	153478,24**	0,91	14,69**	0,52	1070108,27**	0,08	997898,44**	0,14	99257,71*	0,03
Quadr.	1	9284,72**	0,97	4,33**	0,67	10743382,62**	0,93	5489083,72**	0,88	3083241,11**	0,83
Cúbico	1	3173,62**	0,99	4,83**	0,84	56963,3n	0,94	16924,56n	0,88	30984,35n	0,84
Desv.Regr	14	157,5**		0,33**		57610,89*		61946,87**		44504,09**	
T:E3	17	13451,21**		2,27**		718513,64**		473197,19**		211871,9**	
Linear	1	214438,81**	0,94	25,11**	0,65	2617012,77**	0,21	3014350,74**	0,38	459395,68**	0,13
Quadr.	1	5780,91**	0,96	2,8**	0,72	8625906,45**	0,92	3526449,49**	0,81	2352868,77**	0,78
Cúbico	1	8009,42**	1,00	3,1**	0,80	270445,2**	0,94	45286,13n	0,82	31795,43n	0,79
Desv.Regr	14	31,53n		0,54**		50097,67*		104161,85**		54125,88**	
T:E4	17	11929,8**		2,15**		720239,75**		466333,91**		187680,65**	
Linear	1	187094,75**	0,92	24,86**	0,68	3175462,87**	0,26	3844490,5**	0,49	323575,36**	0,10
Quadr.	1	9584,36**	0,97	1,99**	0,74	7508438,09**	0,87	3113160,09**	0,88	2013294,73**	0,73
Cúbico	1	4629,28**	0,99	3,78**	0,84	360205,84**	0,90	30615,45n	0,88	574,75n	0,73
Desv.Regr	14	107,01n		0,42**		85712,07**		67100,74**		60937,58**	
T:E5	17	12227,99**		2,71**		688254,57**		462003,73**		213324,02**	
Linear	1	197147,54**	0,95	31,58**	0,69	4372645,21**	0,37	4188017,55**	0,53	624201,14**	0,17
Quadr.	1	5569,98**	0,98	2,74**	0,75	6037831,54**	0,89	2498308,48**	0,85	2330089,65**	0,82
Cúbico	1	4289,64**	0,99	4,16**	0,84	690125,51**	0,95	161024,43**	0,87	13750,05n	0,82
Desv.Regr	14	62,05n		0,54**		42837,53n		71908,07**		47033,39**	
Erro-b	34	125,17		0,14		49946,74		41460,42		47862,12	

Altura de planta (HP), número de plantas com ramos laterais (NPR), área foliar unitária do estrato inferior (Ai), médio (Am) e superior (As), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e T:E1, T:E2, T:E3, T:E4 e T:E5 são os desdobramentos nos tempos de avaliações (T), em dias após a semeadura (DAS), dentro de cada época de suspensão da irrigação E1, E2, E3, E4 e E5, respectivamente; \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NPR transformados Arcsen((x/100)<sup>0,5</sup>).

TABELA 6A Análise de variância da regressão (ANOVA) da altura de planta para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	GL	QM	R <sup>2</sup>	FV	QM	R <sup>2</sup>	FV	QM	R <sup>2</sup>
T:A1E1	17	918,65**		T:A2E1	905,64**		T:A3E1	1583,55**	
Linear	1	13625,39**	0,87	Linear	12843,35**	0,83	Linear	24404,99**	0,91
Quadr.	1	1170,14**	0,95	Quadr.	1835,72**	0,95	Quadr.	1812,55**	0,97
Cúbico	1	609,32**	0,99	Cúbico	152,31n	0,96	Cúbico	400,29**	0,99
Desv.Regr	14	15,15n		Desv.Regr	40,32n		Desv.Regr	21,6n	
T:A1E2	17	2077,6**		T:A2E2	1704,4**		T:A3E2	2942,09**	
Linear	1	30504,17**	0,86	Linear	25664,36**	0,89	Linear	44389,19**	0,89
Quadr.	1	3724,39**	0,97	Quadr.	2274,62**	0,96	Quadr.	3558,73**	0,96
Cúbico	1	332,31*	0,98	Cúbico	521,31**	0,98	Cúbico	1550,89**	0,99
Desv.Regr	14	54,17n		Desv.Regr	36,75n		Desv.Regr	36,91n	
T:A1E3	17	1359,14**		T:A2E3	2255,65**		T:A3E3	3235,22**	
Linear	1	20016,34**	0,87	Linear	37234,92**	0,97	Linear	52025,59**	0,95
Quadr.	1	1809,16**	0,95	Quadr.	174,14n	0,98	Quadr.	1084,32**	0,97
Cúbico	1	613,49**	0,97	Cúbico	905,81**	0,99	Cúbico	1597,21**	0,99
Desv.Regr	14	47,6n		Desv.Regr	2,23n		Desv.Regr	20,83n	
T:A1E4	17	1399,14**		T:A2E4	1491,12**		T:A3E4	2318,16**	
Linear	1	19328,82**	0,81	Linear	22975,86**	0,91	Linear	35810,76**	0,91
Quadr.	1	3529,48**	0,96	Quadr.	1652,01**	0,97	Quadr.	2174,35**	0,96
Cúbico	1	221,17*	0,97	Cúbico	583,83**	0,99	Cúbico	729,75**	0,98
Desv.Regr	14	50,42n		Desv.Regr	9,81n		Desv.Regr	49,56n	
T:A1E5	17	1823,85**		T:A2E5	2041,8**		T:A3E5	2757,63**	
Linear	1	27656,99**	0,89	Linear	33427,37**	0,96	Linear	44510,81**	0,95
Quadr.	1	2380,19**	0,97	Quadr.	726,33**	0,98	Quadr.	700,3**	0,96
Cúbico	1	583,1**	0,99	Cúbico	364,18**	0,99	Cúbico	1352,5**	0,99
Desv.Regr	14	27,51n		Desv.Regr	13,76n		Desv.Regr	22,58n	
Erro-b	34	125,17		Erro-b	125,17		Erro-b	125,17	

Fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e T:A1E1, T:A1E2, T:A1E3, T:A1E4, T:A1E5, T:A2E1,...., T:A3E5 são os desdobramentos nos tempos de avaliações (T), em dias após a semeadura (DAS), dentro de cada um dos fatoriais A1E1, A1E2, A1E3, A1E4, A1E5, A2E1,...., A3E5 de lâmina de água e época de suspensão da irrigação, respectivamente; \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F.

TABELA 7A Análise de variância da regressão (ANOVA) da altura de planta para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	GL	QM	R <sup>2</sup>	FV	QM	R <sup>2</sup>
T:A4E1	17	1432,77**		T:A5E1	1989,79**	
Linear	1	22049,83**	0,91	Linear	29871,49**	0,88
Quadr.	1	1442,95**	0,97	Quadr.	2547,07**	0,96
Cúbico	1	420,45**	0,98	Cúbico	855,84**	0,98
Desv.Regr	14	31,7n		Desv.Regr	39,43n	
T:A4E2	17	1537,3**		T:A5E2	1892,34**	
Linear	1	24008,85**	0,92	Linear	30806,54**	0,96
Quadr.	1	1031,53**	0,96	Quadr.	224,04*	0,97
Cúbico	1	938,66**	0,99	Cúbico	221,66*	0,97
Desv.Regr	14	11,07n		Desv.Regr	65,53n	
T:A4E3	17	3519,57**		T:A5E3	3638,69**	
Linear	1	53095**	0,89	Linear	58811,45**	0,95
Quadr.	1	2948,22**	0,94	Quadr.	732,05**	0,96
Cúbico	1	3519,06**	0,99	Cúbico	2112,84**	0,99
Desv.Regr	14	19,32n		Desv.Regr	14,38n	
T:A4E4	17	4296,75**		T:A5E4	3181,46**	
Linear	1	69911,93**	0,96	Linear	49705,35**	0,92
Quadr.	1	635,9**	0,97	Quadr.	2209,86**	0,96
Cúbico	1	2157,21**	0,99	Cúbico	1571,75**	0,99
Desv.Regr	14	24,27n		Desv.Regr	42,7n	
T:A4E5	17	2891,86**		T:A5E5	2917,92**	
Linear	1	47322,67**	0,96	Linear	46308,55**	0,93
Quadr.	1	582,53**	0,97	Quadr.	1644**	0,97
Cúbico	1	978,53**	0,99	Cúbico	1236,45**	0,99
Desv.Regr	14	19,85n		Desv.Regr	29,69n	
Erro-b	34	125,17		Erro-b	125,17	

Fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e T:A4E1, T:A4E2, T:A4E3, T:A4E4, T:A4E5, T:A5E1,...., T:A5E5 são os desdobramentos nos tempos de avaliações (T), em dias após a semeadura (DAS), dentro de cada um dos fatoriais A4E1, A4E2, A4E3, A4E4, A4E5, A5E1,...., A5E5 de lâmina de água e época de suspensão da irrigação, respectivamente; \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F.

TABELA 8A Valores médios observados de altura de planta ao longo do tempo de ciclo (T, ver Tabela 9A) para o estudo dentro de lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	Tempo, DAS (dias)								
	82	89	96	103	117	124	131	138	152
	Altura de planta, HP (cm)								
T:A0E0	16,50	16,33	16,83	20,00	25,00	26,00	28,33	31,00	31,33
T:A1E1	20,33	20,33	22,67	24,67	30,67	37,33	42,67	44,00	51,33
T:A1E2	21,33	22,33	27,33	31,67	43,67	56,00	60,33	66,33	77,00
T:A1E3	19,33	18,33	19,67	23,00	33,00	38,00	46,67	48,00	59,33
T:A1E4	21,17	21,33	25,33	29,67	41,00	50,67	55,00	58,33	71,00
T:A1E5	21,00	21,00	24,33	29,00	38,33	49,67	53,00	58,67	68,00
T:A2E1	19,90	20,00	20,67	25,67	34,33	42,33	47,67	49,67	55,67
T:A2E2	19,67	18,67	24,00	27,00	35,33	48,00	51,33	53,33	65,33
T:A2E3	16,33	16,33	19,17	21,67	29,00	35,67	39,67	46,33	56,33
T:A2E4	20,33	20,00	21,67	25,67	37,00	44,67	48,33	52,33	62,00
T:A2E5	21,00	21,67	24,00	28,67	36,33	45,67	53,67	56,67	64,33
T:A3E1	20,50	20,67	24,33	28,33	37,00	47,67	52,67	56,00	63,33
T:A3E2	20,33	21,67	23,50	28,00	40,00	52,00	59,67	66,00	75,00
T:A3E3	17,50	17,33	21,67	24,67	34,33	43,33	51,67	55,00	68,00
T:A3E4	21,33	21,00	24,33	28,67	37,33	47,33	55,33	63,33	72,33
T:A3E5	18,00	16,33	20,50	23,67	33,33	41,00	49,00	50,67	61,67
T:A4E1	20,00	19,33	21,00	24,50	36,33	44,67	48,67	49,67	58,33
T:A4E2	16,17	16,33	18,67	19,33	28,67	34,67	41,33	44,67	53,67
T:A4E3	19,00	19,33	21,50	25,33	37,67	47,33	52,00	60,00	76,00
<b>T:A4E4</b>	<b>18,33</b>	<b>18,67</b>	<b>21,00</b>	<b>24,67</b>	<b>35,00</b>	<b>44,33</b>	<b>53,67</b>	<b>60,33</b>	<b>71,67</b>
T:A4E5	18,17	18,00	20,00	22,33	33,00	43,00	49,33	55,67	64,67
T:A5E1	20,67	21,67	23,00	27,33	36,33	46,33	54,67	57,33	69,67
T:A5E2	18,50	18,33	20,33	22,33	30,00	40,67	42,00	48,33	54,00
T:A5E3	20,50	19,00	21,33	26,00	35,67	45,00	53,33	58,33	71,00
T:A5E4	19,17	19,00	22,83	26,00	37,00	46,67	55,33	60,67	77,00
T:A5E5	20,33	22,00	24,67	27,00	37,67	48,00	55,00	61,67	75,67

Fonte de variação (FV) para T:A1E1, T:A1E2, T:A1E3, T:A1E4, T:A1E5, T:A2E1,...., T:A5E5 correspondentes aos desdobramentos nos tempos de avaliações (T), em dias após a semeadura (DAS), dentro de cada um dos fatoriais A1E1, A1E2, A1E3, A1E4, A1E5, A2E1,...., A5E5 de lâmina de água e época de suspensão da irrigação, respectivamente.

TABELA 9A Valores médios observados de altura de planta ao longo do tempo de ciclo (T, ver Tabela 8A) para o estudo dentro de lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	Tempo, DAS (dias)								
	159	166	173	180	187	194	201	208	220
	Altura de planta, HP (cm)								
T:A0E0	39,00	36,33	37,33	38,67	39,00	37,67	37,00	33,33	26,67
T:A1E1	60,00	61,33	61,67	69,00	63,00	64,00	62,33	64,67	58,33
T:A1E2	86,00	89,67	85,67	93,33	91,33	83,00	88,00	86,33	89,00
T:A1E3	67,00	70,33	76,00	68,67	68,33	67,33	75,00	67,00	69,00
T:A1E4	81,00	76,67	73,67	77,67	73,67	78,00	72,33	74,00	73,00
T:A1E5	80,00	79,00	80,00	85,67	83,33	82,00	86,00	80,33	81,33
T:A2E1	67,67	57,67	58,67	65,33	64,00	66,67	60,33	63,33	60,67
T:A2E2	77,33	76,67	79,67	79,33	79,67	78,67	80,00	76,00	79,00
T:A2E3	65,67	69,33	74,00	77,67	82,67	86,00	87,33	88,33	86,00
T:A2E4	68,67	68,67	74,33	77,00	79,00	78,00	75,67	76,00	73,00
T:A2E5	72,67	79,00	79,33	83,00	83,67	87,67	90,33	89,67	91,00
T:A3E1	74,67	75,00	74,33	76,33	79,00	80,67	84,33	77,33	77,00
T:A3E2	91,67	96,67	97,67	99,67	99,33	98,00	99,33	96,67	93,00
T:A3E3	81,67	88,00	90,33	98,33	101,33	99,67	97,33	101,67	99,00
T:A3E4	85,67	84,33	85,67	90,33	93,00	88,33	85,33	93,67	90,67
T:A3E5	75,67	76,00	85,67	93,33	91,33	96,67	91,67	94,67	92,33
T:A4E1	70,33	67,00	67,67	78,00	78,33	73,33	73,33	74,67	73,33
T:A4E2	62,33	66,00	69,00	74,00	72,67	73,33	70,33	72,67	69,33
T:A4E3	88,00	92,00	97,67	109,33	110,33	104,00	103,67	101,00	90,33
<b>T:A4E4</b>	<b>85,67</b>	<b>91,67</b>	<b>100,00</b>	<b>112,00</b>	<b>112,33</b>	<b>111,00</b>	<b>113,00</b>	<b>112,67</b>	<b>113,67</b>
T:A4E5	77,00	79,67	86,33	86,33	97,33	96,67	94,33	97,67	98,33
T:A5E1	83,33	81,33	83,33	86,00	84,33	83,33	84,00	84,00	82,00
T:A5E2	67,33	72,00	74,67	77,00	76,67	75,67	72,33	84,67	91,67
T:A5E3	80,33	86,00	97,33	103,00	107,00	108,33	110,67	104,67	104,00
T:A5E4	87,33	91,67	96,33	97,67	104,33	100,67	92,67	102,67	98,33
T:A5E5	87,33	87,67	88,33	98,67	101,67	100,33	95,67	99,67	98,67

Fonte de variação (FV) para T:A0E0, T:A1E1, T:A1E2, T:A1E3, T:A1E4, T:A1E5, T:A2E1,...., T:A5E5 correspondentes aos desdobramentos nos tempos de avaliações (T), em dias após a semeadura (DAS), da testemunha (A0E0) e dentro de cada um dos fatoriais A1E1, A1E2, A1E3, A1E4, A1E5, A2E1,...., A5E5 de lâmina de água e época de suspensão da irrigação, respectivamente.

TABELA 10A Análise de variância (ANAVA) das variáveis vegetativas de número de folhas, índice de área foliar e fração de cobertura do solo, em função das lâminas de água (A), épocas de suspensão da irrigação (E) e dos tempos de avaliações, ao longo do ciclo da cultura (T) na subparcela. Lavras, MG, 2011

FV	GL	QUADRADO MÉDIO				
		NFA	NFP	NFT	IAFe	fc
Bloco	2	0,70n	0,55*	1,09n	1,00n	346,93n
Trat	25	11,42**	0,80**	12,86**	6,90**	7907,94**
Fat xTes	1	132,77**	4,92**	145,01**	44,71**	123896,96**
A	4	10,46**	1,10**	12,28**	11,87**	4779,63**
E	4	21,27**	2,01**	24,71**	12,39**	7419,46**
AxE	16	1,62n	0,17n	1,77n	1,92n	1562,82n
Erro-a	50	1,57	0,14	1,72	1,54	1082,33
T	17	68,01**	15,21**	66,36**	27,20**	51461,45**
Erro-b	34	0,45	0,37	0,52	0,35	184,99
Trat xT	425	0,73**	0,16**	0,76**	0,43**	326,79**
Fat xTes xT	17	3,21**	0,24**	3,24**	1,01**	1819,91**
AxT	68	1,06**	0,20**	1,11**	0,89**	315,86**
ExT	68	1,88**	0,26**	1,94**	0,95**	720,08**
AxExT	272	0,21n	0,11n	0,22n	0,15n	137,88n
Erro-c	850	0,19	0,11	0,2	0,13	124,68
Total	1403	1,43	0,33	1,46	0,73	982,54
CV-a	%	35,79	28,27	35,38	125,52	58,47
CV-b	%	19,16	46,64	19,36	59,77	24,17
CV-c	%	12,49	25,59	12,05	36,72	19,85

Número de folhas anterior (NFA) e posterior (NFP) à marcação e total por planta (NFT); índice de área foliar estimado (IAFe), fração de cobertura do solo (fc), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), fatorial dos fatores A e E (Fat), testemunha (Tes), tempos de avaliações (T) em dias após a semeadura (DAS), e coeficientes de variação (CV-a, CV-b e CV-c); \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NFA, NFP e NFT transformados  $((x+0,5)^{0,5})$ .

TABELA 11A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de números de folhas, índice de área foliar e fração de cobertura do solo, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	GL	NFA		NFP		NFT		IAFe		fc	
		QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>
A	4	10,46**		1,10**		12,28**		11,87**		4779,63**	
Linear	1	39,00**	0,93	3,62**	0,82	45,55**	0,93	45,50**	0,96	16761,10**	0,88
Quadr.	1	0,82n	0,95	0,43n	0,92	1,28n	0,95	0,15n	0,96	475,74n	0,90
Cúbico	1	1,86n	1,00	0,25n	0,97	2,21n	1,00	1,84n	0,99	722,76n	0,94
Desv.Regr	1	0,15n		0,12n		0,08n		0,00n		1158,90n	
E	4	21,27**		2,01**		24,71**		12,39**		7419,46**	
Linear	1	72,17**	0,85	5,59**	0,69	83,13**	0,84	43,23**	0,87	27504,93**	0,93
Quadr.	1	3,93n	0,90	1,62**	0,90	5,59n	0,90	1,63n	0,91	2170,97n	0,99
Cúbico	1	3,11n	0,93	0,05n	0,90	3,06n	0,93	1,52n	0,94	0,05n	0,99
Desv.Regr	1	5,86n		0,79*		7,07n		3,19n		1,88n	
Erro-a	50	1,57		0,14		1,72		1,54		1082,33	

Número de folhas anterior (NFA) e posterior (NFP) à marcação e total por planta (NFT); índice de área foliar estimado (IAFe), fração de cobertura do solo (fc), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>); \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NFA, NFP e NFT transformados ((x+0,5)<sup>0,5</sup>).

TABELA 12A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de números de folhas, índice de área foliar e fração de cobertura do solo para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das lâminas de água (A). Lavras, MG, 2011

ANOVA		NFA		NFP		NFT		IAFe		fc	
FV	GL	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>
T:A1	17	9,62**		3,01**		9,74**		3,39**		7454,72**	
Linear	1	54,89**	0,34	6,56**	0,13	38,08**	0,23	6,81**	0,12	80974,96**	0,64
Quadr.	1	70,62**	0,77	26,38**	0,64	102,18**	0,85	41,55**	0,84	41541,77**	0,97
Cúbico	1	30,13**	0,95	6,84**	0,78	17,5**	0,95	3,33**	0,90	2539,65**	0,99
Desv.Regr	14	0,57**		0,81**		0,55*		0,43**		119,56n	
T:A2	17	10,55**		2,98**		10,49**		3,49**		9787,77**	
Linear	1	98,81**	0,55	4,51**	0,09	77,74**	0,44	25,85**	0,44	128261,24**	0,77
Quadr.	1	47,28**	0,82	30,78**	0,70	76,13**	0,86	24,34**	0,85	31866,34**	0,96
Cúbico	1	28,97**	0,98	3,01**	0,76	19,05**	0,97	6,16**	0,95	4937,28**	0,99
Desv.Regr	14	0,3n		0,89**		0,39n		0,21n		94,8n	
T:A3	17	15,27**		3,26**		14,7**		5,72**		10515,84**	
Linear	1	148,89**	0,57	3,86**	0,07	122,57**	0,49	41,83**	0,43	132336,09**	0,74
Quadr.	1	51,37**	0,77	40,5**	0,80	86,62**	0,84	38,69**	0,83	42724,44**	0,98
Cúbico	1	53,67**	0,98	4,24**	0,88	36,8**	0,99	14,17**	0,97	1789,56**	0,99
Desv.Regr	14	0,4n		0,49**		0,28n		0,18n		137,08n	
T:A4	17	20,11**		3,6**		19,88**		9,78**		13462,32**	
Linear	1	220,76**	0,65	0,9*	0,02	195,75**	0,58	94,23**	0,57	185977,18**	0,81
Quadr.	1	41,89**	0,77	46,82**	0,78	75,92**	0,80	34,63**	0,78	36851,48**	0,97
Cúbico	1	71,54**	0,98	0,44n	0,79	57,43**	0,97	28,75**	0,95	4132,4**	0,99
Desv.Regr	14	0,55**		0,93**		0,63**		0,62**		135,6n	
T:A5	17	19,05**		3,09**		18,18**		9,39**		13243,51**	
Linear	1	245,63**	0,76	1,69**	0,03	217,04**	0,70	98,03**	0,61	193716,95**	0,86
Quadr.	1	27,3**	0,84	39,5**	0,78	52,91**	0,87	31,81**	0,81	27481,44**	0,98
Cúbico	1	47,23**	0,99	0,89*	0,80	35,79**	0,99	24,77**	0,97	3156,54**	0,99
Desv.Regr	14	0,26n		0,75**		0,24n		0,36*		56,05n	
Erro-b	34	0,45		0,37		0,52		0,35		184,99	

Número de folhas anterior (NFA) e posterior (NFP) à marcação e total por planta (NFT); índice de área foliar estimado (IAFe), fração de cobertura do solo (fc), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e T:A1, T:A2, T:A3, T:A4 e T:A5 são os desdobramentos nos tempos de avaliações (T), em dias após a semeadura (DAS), dentro de cada lâmina de água A1, A2, A3, A4 e A5, respectivamente; \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NFA, NFP e NFT transformados ((x+0,5)<sup>0,5</sup>).

TABELA 13A Análise de variância da regressão (ANOVA) das variáveis vegetativas de números de folhas, índice de área foliar e fração de cobertura do solo para o estudo no tempo de ciclo (T) dentro das épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	GL	NFA		NFP		NFT		IAFe		fc	
		QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>
T:E1	17	9,48**		2,78**		9,67**		3,04**		7623,65**	
Linear	1	32,77**	0,20	8,03**	0,17	19,49**	0,12	6,97**	0,14	59429,42**	0,46
Quadr.	1	85,08**	0,73	22,62**	0,65	117,14**	0,83	37,69**	0,86	63628,78**	0,95
Cúbico	1	35,16**	0,95	9,45**	0,85	20,14**	0,95	3,07**	0,92	4545,22**	0,99
Desv.Regr	14	0,59**		0,51**		0,55*		0,29n		142,76n	
T:E2	17	11,85**		3,05**		12,14**		4,62**		10054,61**	
Linear	1	65,16**	0,32	5,64**	0,11	47,36**	0,23	14,35**	0,18	103048,85**	0,60
Quadr.	1	79,21**	0,72	32,76**	0,74	117,82**	0,80	47,19**	0,78	58596,86**	0,95
Cúbico	1	48,36**	0,96	4,78**	0,83	33,14**	0,96	9,57**	0,91	7430,64**	0,99
Desv.Regr	14	0,63**		0,62**		0,58*		0,53**		132,28n	
T:E3	17	20,51**		3,62**		20,62**		9,21**		13049,59**	
Linear	1	237,08**	0,68	0,31n	0,01	215,48**	0,62	81,79**	0,52	195067,35**	0,88
Quadr.	1	39,34**	0,79	48,1**	0,79	73,03**	0,82	37,93**	0,77	21108,41**	0,98
Cúbico	1	67,26**	0,99	0,09n	0,79	56,51**	0,98	31,25**	0,97	4921,6**	0,99
Desv.Regr	14	0,36n		0,93**		0,39n		0,39*		53,26n	
T:E4	17	16,93**		3,41**		16,19**		7,43**		12160,37**	
Linear	1	205,4**	0,71	2,58**	0,04	176,73**	0,64	69,58**	0,55	178027,02**	0,86
Quadr.	1	34,64**	0,83	41,77**	0,77	63,71**	0,87	32,53**	0,81	26714,72**	0,99
Cúbico	1	45,3**	0,99	1,95**	0,80	32,08**	0,99	19,94**	0,97	947,99**	0,99
Desv.Regr	14	0,18n		0,84**		0,2n		0,3n		74,04n	
T:E5	17	19,08**		3,34**		17,65**		7,69**		13192,83**	
Linear	1	274,09**	0,85	2,31**	0,04	240,64**	0,80	99,11**	0,76	202023,4**	0,90
Quadr.	1	14,91**	0,89	39,66**	0,74	35,08**	0,92	18,1**	0,90	20656**	0,99
Cúbico	1	32,62**	0,99	1,13**	0,76	22,56**	0,99	12,31**	0,99	833,34*	0,99
Desv.Regr	14	0,19n		0,97**		0,13n		0,08n		54,67n	
Erro-b	34	0,45		0,37		0,52		0,35		184,99	

Número de folhas anterior (NFA) e posterior (NFP) à marcação e total por planta (NFT); índice de área foliar estimado (IAFe), fração de cobertura do solo (fc), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e T:E1, T:E2, T:E3, T:E4 e T:E5 são os desdobramentos nos tempos de avaliações (T), em dias após a semeadura (DAS), dentro de cada época de suspensão da irrigação E1, E2, E3, E4 e E5, respectivamente; \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NFA, NFP e NFT transformados ((x+0,5)<sup>0,5</sup>).

TABELA 14A Análise de variância (ANAVA) das produtividades de grãos por ordem e total, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	GL	QUADRADO MÉDIO			
		PRP	PRS	PRT	PT
Bloco	2	53022,19n	184465,94n	853,75n	347136,13n
Trat	25	97130,69**	975472,7**	78760,14**	2193477,09**
Fat xTes	1	1434102,35**	4978723,93**	108789,5*	14127667,74**
A	4	53665,36n	2221763,33**	223895,71**	4696523,47**
E	4	134362,09**	2213433,04**	182612,46**	4805096,3**
AxE	16	15128,45n	104206,76n	14636,33n	168923,79n
Erro	50	27797,86	99824,03	18728,69	230181,66
Total	77	50963,69	386324,04	37755,14	870653,02
CV	%	17,8	25,01	73,29	20,1

Produtividade de grãos por ordem de racemos primários (PRP), secundários (PRS), terciários (PRT) e produtividade total da cultura (PT), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), fatorial dos fatores A e E (Fat), testemunha (Tes) e coeficiente de variação (CV); \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F.

TABELA 15A Análise de variância (ANAVA) das componentes de produção número de racemos por planta, porcentagem total de grãos chochos, teor de água e óleo dos grãos, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E), Lavras, MG, 2011

FV	GL	QUADRADO MÉDIO			
		NTR	PTX	TU	TO
Bloco	2	0,02n	0,022*	0,11n	2,68n
Trat	25	0,28**	0,011*	0,13n	16,91n
Fat xTes	1	2,52**	0,063**	0,01n	21,76n
A	4	0,44**	0,007n	0,09n	9,49n
E	4	0,54**	0,007n	0,14n	19,32n
AxE	16	0,03n	0,009n	0,14n	17,85n
Erro	50	0,04	0,006	0,10	13,38
Total	77	0,12	0,008	0,11	14,25
CV	%	9,54	22,87	5,34	8,53

Número total de racemos por planta (NTR), porcentagem total de grãos chochos (PTX), teor de água (TU) e óleo dos grãos, fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), fatorial dos fatores A e E (Fat), testemunha (Tes) e coeficiente de variação (CV); \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NTR e PTX foram transformados por  $(x+0,5)^{0,5}$  e  $\text{Arcsen}(x/100)^{0,5}$ , respectivamente.

TABELA 16A Análise de variância da regressão (ANOVA) do número de racemos por planta, porcentagem total de grãos chochos, teor de óleo e produtividade total de grãos, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	GL	NTR		PTX		TO		PT	
		QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>
A	4	0,44**		0,007n		9,49n		4696523,47**	
Linear	1	1,74**	0,99	0,004n	0,14	8,51n	0,22	16650603,87**	0,89
Quadr.	1	0,01n	0,99	0,024*	0,94	2,50n	0,29	1742331,26*	0,98
Cúbico	1	0,00n	0,99	0,0001n	0,94	11,23n	0,59	339511,85n	0,99
Desv.Regr	1	0,00n		0,002n		15,7n		53646,88n	
E	4	0,54**		0,007n		19,32n		4805096,30**	
Linear	1	2,07**	0,96	0,008n	0,31	1,41n	0,02	11872725,23**	0,62
Quadr.	1	0,02n	0,97	0,018n	0,97	50,75*	0,68	6871504,36**	0,98
Cúbico	1	0,06n	0,99	0,001n	0,99	19,63n	0,93	298985,10n	0,99
Desv.Regr	48	0,00n		0,0001n		5,50n		177170,49n	
Erro	50	0,04		0,0058		13,38		230181,70	

Número total de racemos por planta (NTR), porcentagem total de grãos chochos (PTX), teor de óleo (TO) e produtividade total dos grãos da cultura (PT), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>); \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NTR e PTX foram transformados por  $(x+0,5)^{0,5}$  e  $\text{Arcsen}((x/100)^{0,5})$ , respectivamente.

TABELA 17A Análise de variância da regressão (ANOVA) do número de racemos por planta, porcentagem total de grãos chochos, teor de óleo e produtividade total para o estudo das lâminas de água (A) dentro das épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

FV	GL	NTR		PTX		TO		PT	
		QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>
A:E1	4	0,09n		0,032**		13,86n		743911,15*	
Linear	1	0,21*	0,62	0,092**	0,72	25,39n	0,46	2889836,45**	0,97
Quadr.	1	0,06n	0,79	0,019n	0,87	10,36n	0,65	53384,45n	0,99
Cúbico	1	0,07n	0,99	0,016n	0,99	3,54n	0,71	24099,77n	0,99
Desv.Regr	1	0,01n		0,001n		16,15n		8323,94n	
A:E2	4	0,06n		0,002n		16,96n		516610,03n	
Linear	1	0,18*	0,68	0,003n	0,37	2,85n	0,04	2040869,55**	0,99
Quadr.	1	0,02n	0,74	0,003n	0,69	26,89n	0,44	8523,78n	0,99
Cúbico	1	0,04n	0,92	0,002n	0,87	32,53n	0,92	12345,65n	0,99
Desv.Regr	1	0,02n		0,001n		5,57n		4701,15n	
A:E3	4	0,11n		0,001n		10,28n		1234634,51**	
Linear	1	0,41**	0,94	0,00002n	0,00	0,00n	0,00	4501564,79**	0,91
Quadr.	1	0,00n	0,94	0,002n	0,50	0,16n	0,00	433322n	0,99
Cúbico	1	0,01n	0,97	0,001n	0,69	4,18n	0,11	1253,76n	0,99
Desv.Regr	1	0,01n		0,001n		36,78n		2397,50n	
A:E4	4	0,19**		0,003n		16,49n		1489203,27**	
Linear	1	0,63**	0,83	0,006n	0,50	31,28n	0,47	4405819,03**	0,74
Quadr.	1	0,00n	0,83	0,003n	0,72	14,8n	0,70	1008702,83*	0,91
Cúbico	1	0,04n	0,88	0,0001n	0,73	19,43n	0,99	515010,8n	0,99
Desv.Regr	1	0,09n		0,004n		0,44n		27280,43n	
A:E5	4	0,11*		0,007n		23,31n		1387859,64**	
Linear	1	0,4**	0,88	0,02n	0,74	18,65n	0,20	3150887,25**	0,57
Quadr.	1	0,02n	0,93	0,003n	0,85	0,38n	0,20	2038224,41**	0,94
Cúbico	1	0,01n	0,96	0,001n	0,88	1,71n	0,22	255755,95n	0,98
Desv.Regr	1	0,02n		0,003n		72,5*		106570,96n	
Erro	50	0,04		0,0058		13,38		230181,70	

Número total de racemos por planta (NTR), porcentagem total de grãos chochos (PTX), teor de óleo (TO) e produtividade total dos grãos da cultura (PT), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>); A:E1, A:E2, A:E3, A:E4 e A:E5 são os desdobramentos das lâminas A dentro de cada época E1, E2, E3, E4 e E5, respectivamente; \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NTR e PTX foram transformados por  $(x+0,5)^{0,5}$  e  $\text{Arcsen}(x/100)^{0,5}$ , respectivamente.

TABELA 18A Análise de variância da regressão (ANOVA) do número de racemos por planta, porcentagem total de grãos chochos, teor de óleo e produtividade total para o estudo das épocas de suspensão da irrigação (E) dentro das lâminas de água (A). Lavras, MG, 2011

FV	GL	NTR		PTX		TO		PT	
		QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>	QM	R <sup>2</sup>
E:A1	4	0,02n		0,009n		9,68n		461913,97n	
Linear	1	0,07n	0,88	0,032*	0,90	27,40n	0,71	584020,97n	0,32
Quadr.	1	0,00n	0,89	0,003n	0,99	5,04n	0,84	1104434,56*	0,91
Cúbico	1	0,01n	0,99	0,0002n	0,99	0,96n	0,86	1523,30n	0,92
Desv.Regr	1	0,00n		0,0002n		5,32n		157677,07n	
E:A2	4	0,19**		0,023**		19,13n		1066545,01**	
Linear	1	0,74**	0,98	0,067**	0,74	32,23n	0,42	2767836,25**	0,65
Quadr.	1	0,01n	0,99	0,021n	0,97	2,16n	0,45	1469054,70*	0,99
Cúbico	1	0,01n	0,99	0,003n	0,99	31,71n	0,86	21770,06n	0,99
Desv.Regr	1	0,00n		0,00001n		10,44n		7519,03n	
E:A3	4	0,11n		0,002n		36,78*		1417475,41**	
Linear	1	0,37**	0,88	0,0001n	0,02	97,69**	0,66	4185357,81**	0,74
Quadr.	1	0,01n	0,91	0,007n	0,74	10,76n	0,74	1346769,85*	0,98
Cúbico	1	0,00n	0,92	0,0025n	0,99	14,48n	0,84	118792,70n	0,99
Desv.Regr	1	0,04n		0,00001n		24,19n		18981,270n	
E:A4	4	0,24**		0,0021n		19,64n		1841061,07**	
Linear	1	0,69**	0,73	0,0046n	0,56	0,69n	0,01	5812507,45**	0,79
Quadr.	1	0,00n	0,74	0,000001n	0,56	30,44n	0,40	1077395,34*	0,94
Cúbico	1	0,23*	0,98	0,0031n	0,94	3,06n	0,44	371250,96n	0,99
Desv.Regr	1	0,02n		0,0005n		44,36n		103090,53n	
E:A5	4	0,11*		0,0082n		5,50n		693795,98*	
Linear	1	0,41**	0,93	0,0322*	0,98	8,15n	0,37	672656,38n	0,24
Quadr.	1	0,02n	0,97	0,0002n	0,98	11,68n	0,90	1960229,01**	0,95
Cúbico	1	0,01n	0,99	0,00003n	0,98	0,09n	0,91	142296,42n	0,99
Desv.Regr	1	0,00n		0,0006n		2,10n		2,10n	
Erro	50	0,04		0,0058		13,38		230181,70	

Número total de racemos por planta (NTR), porcentagem total de grãos chochos (PTX), teor de óleo (TO) e produtividade total dos grãos da cultura (PT), fonte de variação (FV), grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>); E:A1, E:A2, E:A3, E:A4 e E:A5 são os desdobramentos das épocas de suspensão E dentro de cada lâmina A1, A2, A3, A4 e A5, respectivamente; \*\*, \* e n correspondem, respectivamente, às significâncias a 1%, a 5% e não significativo, a 5%, pelo Teste F. Obs.: Os dados x de NTR e PTX foram transformados por  $(x+0,5)^{0,5}$  e  $\text{Arcsen}(x/100)^{0,5}$ , respectivamente.

TABELA 19A Valores médios observados do número de racemos por ordem por planta e do teor de óleo dos grãos, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

.....NRS(número-planta <sup>-1</sup> ).....							.....NRT(número-planta <sup>-1</sup> ).....						
A/E	120	149	177	196	220	Méd	A/E	120	149	177	196	220	Méd
40	2,0	2,0	2,0	2,0	2,3	2,1	40	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,3
70	1,3	2,0	2,0	2,3	2,0	1,9	70	0,0	0,3	1,3	1,3	1,3	0,9
100	2,0	2,0	2,0	2,3	2,0	2,1	100	0,0	0,7	1,7	1,3	1,7	1,1
130	2,3	2,0	2,3	2,7	3,0	2,5	130	0,3	0,3	1,3	2,7	1,7	1,3
160	2,3	2,7	2,3	2,3	2,7	2,5	160	0,7	1,0	2,3	2,7	2,7	1,9
Méd	2,0	2,1	2,1	2,3	2,4	2,2	Méd	0,2	0,5	1,3	1,7	1,6	1,1
.....NTR(número-planta <sup>-1</sup> ).....							.....TO***(%bu).....						
A/E	120	149	177	196	220	Méd	A/E	120	149	177	196	220	Méd
40	3,0	3,0	3,3	3,7	3,7	3,3	40	44,4	44,4	44,5	41,4	40,9	43,1
70	2,3	3,3	4,0	4,3	5,0	3,8	70	44,4	40,0	43,7	41,6	38,3	41,6
100	3,0	3,7	4,7	4,3	5,0	4,1	100	39,5	39,9	47,2	45,2	45,6	43,5
130	3,7	3,3	4,7	6,3	5,7	4,7	130	41,2	44,8	42,2	46,8	40,8	43,2
160	4,0	4,7	5,7	6,0	6,0	5,3	160	41,4	43,5	45,2	43,9	43,6	43,5
Méd	3,2	3,6	4,5	4,9	5,1	4,3	Méd	42,2	42,5	44,5	43,8	41,8	43,0
0*	...	...	1,0	...	...	1,0	0*	...	...	40,2	...	...	40,2

Valores médios do teor de óleo dos grãos (TO), número de racemos secundários (NRS), terciários (NRT) e total por planta (NTR) resultante da soma dos dois primeiros mais um racemo primário por planta (NRP = 1); lâminas de água A1, A2, A3, A4 e A5 referem-se às porcentagens de reposição 40%, 70%, 100%, 130% e 160%A3 e às épocas de suspensão da irrigação E1, E2, E3, E4 e E5, aos 120, 149, 177, 196 e 220 dias após a semeadura (DAS); Obs.: \* tratamento testemunha recebeu lâmina total acumulada A0 = 173 mm num ciclo de 177 dias após semeadura (DAS), ou seja, A0E0; os dados da testemunha referem-se apenas à ordem primária do número de racemos (NRP); \*\*\* dados obtidos da produção total de grãos de todos os racemos primários, secundários e terciários à unidade de grãos de 10%Ubu.

TABELA 20A Valores médios observados de porcentagem de grãos chochos por ordem de racemos, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

.....PXS (%) .....							.....PXT(%) .....						
A/E	120	149	177	196	220	Méd	A/E	120	149	177	196	220	Méd
40	33,0	16,5	13,0	10,7	10,6	16,8	40	0,0	0,0	2,2	14,4	6,0	4,5
70	47,9	14,7	11,4	10,5	5,3	17,9	70	0,0	19,3	13,1	8,7	27,4	13,7
100	25,9	12,7	10,1	9,5	7,5	13,1	100	0,0	10,5	25,4	21,8	54,4	22,4
130	11,0	14,4	9,9	7,9	8,7	10,4	130	0,0	9,1	31,3	21,8	44,2	21,3
160	6,4	7,1	11,2	8,0	8,3	8,2	160	0,0	10,4	10,9	28,3	41,0	18,1
Méd	24,8	13,1	11,1	9,3	8,1	13,3	Méd	0,0	9,9	16,6	19,0	34,6	16,0
.....PXP(%) .....							.....PTX(%) .....						
A/E	120	149	177	196	220	Méd	A/E	120	149	177	196	220	Méd
40	6,7	4,2	3,2	3,3	3,0	4,1	40	15,9	11,5	9,0	8,1	7,9	10,5
70	10,2	4,7	2,9	3,0	3,1	4,8	70	23,1	11,0	8,7	8,5	8,2	11,9
100	5,5	3,7	4,2	2,8	2,7	3,8	100	15,0	10,0	11,1	12,6	13,4	12,4
130	5,5	3,2	2,0	2,4	1,8	3,0	130	8,5	11,3	10,1	10,5	12,5	10,6
160	4,3	4,2	1,9	2,8	2,1	3,1	160	5,3	7,2	8,7	11,7	12,8	9,1
Méd	6,4	4,0	2,8	2,8	2,5	3,7	Méd	13,6	10,2	9,5	10,3	10,9	10,9
0*	...	...	21,75	...	...	21,75	0*	...	...	21,75	...	...	21,75

Porcentagem de grãos chochos dos racemos primários (PXP), secundários (PXS), terciários (PXT) e total por planta (PTX); lâminas de água A1, A2, A3, A4 e A5 referem-se às porcentagens de reposição 40%, 70%, 100%, 130% e 160%A3 e às épocas de suspensão da irrigação E1, E2, E3, E4 e E5, aos 120, 149, 177, 196 e 220 dias após a semeadura (DAS); Obs.: \* tratamento testemunha recebeu lâmina total acumulada A0 = 173 mm num ciclo de 177 dias após semeadura (DAS), ou seja, A0E0; os dados da testemunha referem-se apenas à ordem primária da porcentagem de grãos chochos (PXP).

TABELA 21A Valores médios observados de produtividade de grãos por ordem de racemos, em função das lâminas de água (A) e épocas de suspensão da irrigação (E). Lavras, MG, 2011

.....PRP**(kg ha <sup>-1</sup> ) .....							.....PRT**(kg ha <sup>-1</sup> ) .....						
A/E	120	149	177	196	220	Méd	A/E	120	149	177	196	220	Méd
40	277,6	912,7	892,0	955,8	721,1	751,8	40	0,0	14,5	25,8	27,6	35,1	20,6
70	365,7	1122,8	1342,4	1349,8	1341,2	1104,4	70	14,5	97,6	163,3	232,6	211,5	143,9
100	655,8	1263,3	1787,7	1861,9	1665,6	1446,9	100	23,3	155,3	217,2	298,5	235,1	185,9
130	883,8	1491,5	1861,0	2244,9	2062,7	1708,8	130	50,2	213,2	417,1	465,0	416,4	312,4
160	1147,1	1687,0	1735,7	1824,0	1390,7	1556,9	160	52,4	218,1	413,5	493,2	363,9	308,2
Méd	666,0	1295,5	1523,8	1647,3	1436,3	1313,8	Méd	28,1	139,8	247,4	303,4	252,4	194,2
.....PRP**(kg ha <sup>-1</sup> ) .....							.....PT**(kg ha <sup>-1</sup> ) .....						
A/E	120	149	177	196	220	Méd	A/E	120	149	177	196	220	Méd
40	767,4	879,3	913,8	1096,4	800,2	891,4	40	1045,0	1806,5	1831,5	2079,7	1556,5	1663,9
70	751,7	974,2	1015,4	1009,4	824,4	915,0	70	1131,9	2194,6	2521,1	2591,8	2377,1	2163,3
100	847,2	963,1	984,3	1117,6	980,2	978,5	100	1526,3	2381,8	2989,2	3278,0	2880,9	2611,2
130	932,0	930,4	1043,5	1172,4	915,6	998,8	130	1866,0	2635,1	3321,7	3882,3	3394,6	3019,9
160	1030,3	985,3	1218,8	1033,3	913,6	1036,3	160	2229,8	2890,4	3368,0	3350,6	2668,2	2901,4
Méd	865,7	946,4	1035,2	1085,8	886,8	964,0	Méd	1559,8	2381,7	2806,3	3036,5	2575,5	2471,9
0*	...	...	258,9	...	...	258,9	0*	...	...	258,9	...	...	258,9

Produtividade de grãos dos racemos primários (PRP), secundários (PRS), terciários (PRT) e produtividade total de grãos da cultura (PT); lâminas de água A1, A2, A3, A4 e A5 referem-se às porcentagens de reposição 40%, 70%, 100%, 130% e 160% A3 e às épocas de suspensão da irrigação E1, E2, E3, E4 e E5, aos 120, 149, 177, 196 e 220 dias após a semeadura (DAS); Obs.: \* tratamento testemunha recebeu lâmina total acumulada A0 = 173 mm num ciclo de 177 dias após semeadura (DAS), ou seja, A0E0, e os dados referem-se apenas à ordem primária; \*\* dados de produtividades referem-se à unidade de grãos de 10%Ubu e teor de óleo médio de 43%bu.