



WEZER LISMAR MIRANDA

**COEFICIENTE DE CULTURA PARA A
MAMONEIRA EM PLANTIO ADENSADO**

LAVRAS – MG

2011

WEZER LISMAR MIRANDA

**COEFICIENTE DE CULTURA PARA A MAMONEIRA EM PLANTIO
ADENSADO**

Dissertação 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 obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho

LAVRAS – MG

2011

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

Miranda, Wezer Lismar.

Coeficiente de cultura para a mamoneira em plantio adensado /
Wezer Lismar Miranda. – Lavras : UFLA, 2011.
75 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.
Orientador: Luiz Gonsaga de Carvalho.
Bibliografia.

1. *Ricinus communis* L. 2. Safrinha. 3. Evapotranspiração. 4.
Lisímetro de drenagem. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD – 631.587

WEZER LISMAR MIRANDA

**COEFICIENTE DE CULTURA PARA A MAMONEIRA EM PLANTIO
ADENSADO**

Dissertação 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 obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 01 de abril de 2011.

Dra. Maria Laene Moreira de Carvalho UFLA

Dr. Pedro Castro Neto UFLA

Dr. Renato Carvalho Vilas Boas UFLA

Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho
Orientador

LAVRAS – MG

2011

Aos meus Pais: “Sô Gabriel” (*in memoriam*) e “Dona Zola” (*in memoriam*) a quem devo o muito do pouco que sou.

Ao me ensinarem o valor do trabalho e terem burilado o meu caráter a fim de que me tornasse um homem de bem.

DEDICO

A minha avó Dona Sebastiana de Jesus, mulher centenária, exemplo de humildade, simplicidade, amor a vida, fé e confiança em Deus.

As minhas irmãs: Lucimar e Liége, pelo cuidado, carinho e atenção a mim dispensados ao longo da minha vida na condição de irmão mais novo.

Ao meu sobrinho Axell, pelos ensinamentos entorno da alegria e diversão sadias.

Aos meus familiares (que são muitos): avôs e avó, tios e tias, primos e primas, pela constante lembrança de quem eu sou e de quais são minhas origens.

A minha madrinha Arlete, pela decisiva contribuição prestada na formação da base educacional que me trouxe até aqui.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, “inteligência suprema, causa primária de todas as coisas”.

À Universidade Federal de Lavras, pelo fato de me haver proporcionado uma educação de qualidade, desde a graduação, sem precisar me afastar da minha Terra Natal e de meus familiares.

Ao Departamento de Engenharia, onde fiz tantos amigos, pelo suporte à construção do conhecimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo apoio aos projetos envolvendo plantas oleaginosas.

Ao professor Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho, pela valiosa orientação técnica, profissional e humana que me prestou ao longo de nossas várias discussões.

Aos professores Dr. Pedro Castro Neto e Dr. Antônio Carlos Fraga, pela coorientação, ajuda e apoio no desenvolvimento deste estudo.

Ao professor Dr. Elio Lemos da Silva, pela ajuda prestada no processo de compreensão da dinâmica do movimento da água nos lisímetros.

Aos doutorandos Gervásio Fernando Alves Rios e Rogner Carvalho Avelar, aos graduandos Pietros André Balbino dos Santos e Fernando de Freitas Filho, pela ajuda quando da instalação do experimento.

Ao Samuel Wanderley Rezende, bolsista de iniciação científica, pela ajuda na condução do experimento.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação pela amizade, companheirismo e pelos momentos de descontração.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia, José Luis Moraes Rodrigues, Oswaldo Francisco de Carvalho (Neném), Gilson Bernardo Alves e Greice Costa pela atenção, ajuda e sugestões oferecidas.

Aos funcionários do Setor de Olericultura, Pedro Paulo Pereira, Josemar Silva e Milton Ribeiro pelo desprendimento ao auxiliar.

A empresa BIMIG COMÉRCIO Ltda pela concessão da manta sintética Bidim – RP07®.

Enfim, agradeço a todos que passaram pela minha vida e de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A demanda pelo óleo da semente de mamona cresce a cada ano, devido aos seus múltiplos usos industrial e a sua utilização como biocombustível. Com o fim de atender a referida demanda, diferentes técnicas de manejo da mamoneira têm sido desenvolvidas, destacando-se o cultivo no período de safrinha em rotação com outras culturas, o plantio adensado e a irrigação. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de determinar o coeficiente de cultura (Kc) da mamoneira em plantio adensado nas condições climáticas de Lavras, Minas Gerais, utilizando-se um lisímetro de drenagem. A determinação do Kc depende de uma adequada estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) e da medição da evapotranspiração da cultura (ET_c) de interesse. Para tanto, foram utilizados três lisímetros de drenagem, com dimensões de 1,2 m de comprimento, 1,4 m de largura e 1,2 m de profundidade. Nos lisímetros foram plantadas oito mudas de mamoneira da cultivar Al Guarany 2002 com espaçamento de 0,3 m entre plantas e 0,7 m entre linhas. Em um dos lisímetros foi instalada uma bateria de tensiômetros nas profundidades de 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0 m para monitoramento da umidade do solo e controle da reposição de água drenada. A ET_c foi contabilizada no intervalo de 5 a 12 dias, conforme se observou o fim da drenagem. A ET_o foi estimada pela equação de Penman-Monteith-FAO. A partir da relação ET_c/ET_o obteve-se o Kc para os diferentes períodos ao longo do ciclo da cultura. A ET_c e o Kc foram considerados pela média dos valores observados nos três lisímetros de drenagem utilizados. Os valores de ET_c encontrados nas fases inicial, de crescimento, intermediária e final foram 1,65; 3,07; 9,14 e 5,85 mm d⁻¹ respectivamente. Os valores de Kc para as fases correspondentes foram 0,98; 1,41; 2,11 e 1,65 respectivamente.

Palavras-chave: *Ricinus communis* L. Safrinha. Evapotranspiração. Lisímetro de drenagem.

ABSTRACT

The demand for castor seed oil increases every year due to its many industrial uses and its use as biofuel. In order to meet that demand different castor bean handling techniques have been implemented, with emphasis on the cultivation during the off-season in rotation with other crops, high density planting and irrigation. This research was conducted to determine the crop coefficient (Kc) of castor bean with high density planting under the weather conditions in Lavras, Minas Gerais, Brazil, using a drainage lysimeter. The determination of Kc depends on an adequate estimation of reference evapotranspiration (ET_o) and the measurement of crop evapotranspiration (ET_c) of interest. Three drainage lysimeters were used to measure crop water use. Each lysimeter is 1.2 m x 1.4 m in surface area and 1.2 m deep. Eight seedlings of castor bean cultivar Al Guarany 2002 were planted in the lysimeters with 0.3 m spacing between plants and 0.7 m between rows. In one lysimeter a battery of tensiometers was installed at depths of 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8 and 1.0 m for soil moisture monitoring and control of replacement of drained water. The ET_c was recorded in the range of 5 to 12 days, as indicated by the end of the drainage. ET_o was estimated by the Penman-Monteith-FAO. From the ET_c/ET_o the Kc was obtained for various periods during the crop cycle. The ET_c and Kc were considered by the average values observed in the three drainage lysimeters used. ET_c values found in the initial growth, intermediate and final stages were 1.65; 3.07; 9.14 and 5.85 mm d⁻¹ respectively. Kc values for the corresponding phases were 0.98; 1.41; 2.11 and 1.65 respectively.

Keywords: *Ricinus communis* L. Off-season. Evapotranspiration. Drainage lysimeter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Curva do coeficiente de cultura (K_c) com os respectivos nomes e identificação das fases.....	31
Figura 2	Esquema de um lisímetro de drenagem instalado.....	34
Figura 3	Detalhe do formato piramidal do fundo do tanque.....	40
Figura 4	Detalhe das barras de ferro nas paredes laterais do tanque.....	41
Figura 5	Detalhe da tubulação de saída do tanque sendo sobreposta pela grade e pela manta sintética.....	42
Figura 6	Face interna das paredes do tanque recobertas com cola adesiva e uma fina camada de solo, com a manta sintética estendida sobre a brita ao fundo.....	43
Figura 7	Detalhe da instalação da tubulação de drenagem dos tanques em área experimental de plantio de mamoneira.....	44
Figura 8	Detalhe dos baldes de coleta dentro do poço coletor dos lisímetros.....	45
Figura 9	Disposição das mudas de mamoneira no lisímetro.....	46
Figura 10	Evapotranspiração média da mamoneira (ET_c) medida nos lisímetros 1 e 2 e evapotranspiração de referência (ET_o) média estimada para o período experimental (01/05 a 07/10/2010).....	57
Figura 11	Evapotranspiração média da mamoneira (ET_c) medida no lisímetro 3 e evapotranspiração de referência (ET_o) média estimada para intervalo de tempo específico no manejo desse lisímetro.....	59
Figura 12	Comparativo entre o coeficiente de cultura (K_c) obtido da média entre os três lisímetros e o K_c sugerido por Allen et al. (1998).....	60
Figura 13	Comportamento das curvas do coeficiente de cultura (K_c) para os lisímetros 1, 2 e 3.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização das fases fenológicas das culturas.....	30
Tabela 2	Equações de retenção de água no solo para as três camadas observadas.....	37
Tabela 3	Extrato da planilha utilizada no controle de entrada e saída de água dos lisímetros.....	54
Tabela 4	Valores mensais da evapotranspiração de referência (ET _o), temperaturas média (T _{méd}), máxima (T _{máx}) e mínima (T _{mín}) mensais, umidade relativa média mensal (UR), pressão atmosférica média mensal (P _{atm}), velocidade do vento média mensal a 10 m de altura (U ₁₀), insolação média mensal (n) e precipitação total mensal (Prec.).....	55
Tabela 5	Valores de temperaturas média (T _{méd}), máxima (T _{máx}) e mínima (T _{mín}) mensais, umidade relativa média mensal (UR), pressão atmosférica média mensal (P _{atm}), insolação média mensal (n) e precipitação total mensal (Prec.) observadas nas Normais Climatológicas (1961-1990).....	55
Tabela 6	Valores de coeficiente de cultura (K _c) da mamoneira nas diferentes fases obtidos no presente estudo e relatados na literatura.....	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	A cultura da mamoneira	15
2.2	Agronegócio da mamona	16
2.2.1	Cenário mundial	16
2.2.2	Cenário nacional	17
2.3	Técnica de cultivo	18
2.4	Utilização da mamona	19
2.5	Mamoneira irrigada	20
2.6	Evapotranspiração	23
2.6.1	Conceitos	23
2.6.2	Coefficiente de cultura (Kc)	29
2.7	Lisimetria	32
2.7.1	Lisímetro de drenagem	33
3	MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1	Preparo de solo e adubação	36
3.2	Curvas de retenção de água no solo	37
3.3	Informações meteorológicas	38
3.4	Plantio	38
3.5	Lisímetros	40
3.6	Manejo dos lisímetros	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Fase inicial de operação dos lisímetros	51
4.2	Manejo dos lisímetros	53
4.3	Evapotranspiração da mamoneira (ETc)	56
4.4	Coefficiente de cultura da mamoneira (Kc)	60
5	CONCLUSÕES	64
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O território brasileiro apresenta uma ampla diversidade nas condições de clima e solo que favorece o cultivo de variadas espécies vegetais, com o fim de atender a indústria alimentícia, o fornecimento de matéria-prima para diferentes processos produtivos e produtos, além da produção de biocombustíveis. Neste aspecto, a mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma cultura que se destaca pelo fato de se adaptar as várias regiões do país e possuir características genéticas que conferem ao óleo extraído das sementes, centenas de aplicações na indústria. Outro destaque, é que se trata de uma planta oleaginosa com potencial para produção de biodiesel.

O principal produto derivado da mamoneira é o óleo de mamona, cujo teor na semente varia entre 35 e 55%. O subproduto da extração do óleo é a torta ou farelo de mamona que, devido às propriedades tóxicas, não pode ser utilizado na alimentação animal, mas tem aplicação como adubo orgânico de alta qualidade.

O óleo de mamona possui uma característica peculiar que o torna único na natureza. Trata-se do ácido ricinoleico contido na estrutura celular e que possui uma hidroxila (OH) ligada a cadeia de carbono, o que lhe confere alta viscosidade, estabilidade física e química e solubilidade em álcool sob baixas temperaturas. Este fato explica sua ampla utilização industrial, principalmente, para produção de graxas, lubrificantes, tintas, vernizes, espumas, materiais plásticos, cosméticos e até em alguns produtos alimentares.

No ano de 2003, o governo federal instituiu o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) que organizou a cadeia produtiva, estruturou a base tecnológica e dentre outras ações, estabeleceu como meta a ser cumprida até o ano de 2013, a adição de 5% de biodiesel a todo o diesel mineral produzido e comercializado no país. No entanto, a substituição desta meta foi

antecipada para janeiro de 2010 mediante resolução tomada pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Dados da Agência Nacional do Petróleo - ANP (2011) evidenciam que a produção nacional de óleo diesel no ano de 2009 foi de 42.444.040 m³ e a produção de biodiesel, no mesmo ano, foi da ordem de 1.608.053 m³. Para cumprir a meta de adição de 5% de biodiesel no diesel mineral, seria necessária a produção de 2.122.202 m³ de biodiesel para suprir a demanda. Este fato demonstra a necessidade de aumento da área plantada com oleaginosas e/ou aumento de produtividade das mesmas.

A partir deste Programa (PNPB), ficou definido que a mamoneira seria uma das oleaginosas a serem exploradas com o fim de fornecer matéria prima para produção de biodiesel no país.

Diante deste cenário, diferentes técnicas de manejo têm sido adotadas. Uma delas se refere ao uso da mamoneira na rotação com outras culturas, no período de safrinha, que visando o aproveitamento das máquinas e equipamentos utilizados no cultivo de milho e soja, por exemplo, ainda tem-se buscado associar o plantio adensado da cultura.

A elevação do nível de tecnificação aplicado no cultivo da mamoneira cria uma demanda natural de pesquisas que viabilizem o plantio direto, o desenvolvimento de cultivares adaptadas à colheita mecanizada, de frutos indeiscentes, que indiquem a densidade de plantio ideal para cada cultivar, dentre outras características.

A irrigação, conjuntamente as outras técnicas de manejo, também pode ser implantada para viabilizar o aumento de produtividade. A irrigação consiste em repor ao sistema solo-planta a lâmina de água transferida para a atmosfera, sendo este processo de transferência, conhecido como evapotranspiração. O manejo racional da irrigação, com vistas à sustentabilidade, depende do conhecimento de alguns parâmetros relacionados à cultura, ao solo e ao clima.

A evapotranspiração, para fins de irrigação, pode ser dividida em: evapotranspiração da cultura (ETc) que é a quantidade de água evapotranspirada por determinada cultura e evapotranspiração de referência (ETo) que é a quantidade de água evapotranspirada por uma cultura de referência com características específicas, representada pela grama. A relação entre ETc e ETo é estabelecida pelos valores que Kc pode assumir em função das diferentes culturas, estádios de desenvolvimento e condições climáticas locais.

Existem diferentes métodos para determinação da evapotranspiração e conseqüentemente do Kc. No presente trabalho, utilizou-se o método do lisímetro de drenagem para determinar a ETc para a mamoneira, a equação Penman-Monteith FAO para determinar a ETo no período cultivado e da relação entre as duas buscou-se estabelecer os valores de Kc a serem adotados para o cultivo da mamoneira na região sul de Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da mamoneira

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma planta oleaginosa pertencente à família Euphorbiaceae, que possui aproximadamente 7500 espécies de hábito bastante variado, existindo ervas, subarbustos, árvores e trepadeiras, todas oriundas de região tropical (JOLY, 2002) e inclui, por exemplo, a mandioca, a seringueira e o pinhão manso. Segundo Beltrão (2002), a mamoneira é possivelmente originária da antiga Abissínia, hoje Etiópia, no continente africano.

Souza et al. (2007a), afirmam que a cerca de 4 mil anos, os egípcios já cultivavam e utilizavam o óleo de semente de mamona para iluminação. Também há relatos de seu uso para fins medicinais (RODRIGUES; OLIVEIRA; FONSECA, 2002), confirmados pelo fato de até os dias de hoje se observar a utilização do mesmo como um purgativo, dentre outros usos.

A mamoneira é uma euforbiácea rústica, heliófila, resistente à seca, disseminada em diversas regiões do mundo. Bastante complexa em relação à fisiologia e morfologia (MONTEIRO, 2005; PARRELLA, 2009).

O sistema radicular da mamoneira é do tipo pivotante, com uma raiz principal que atinge grandes profundidades. Apresenta grande quantidade de raízes laterais, responsáveis pela nutrição da planta. De uma forma geral, pode-se dizer que a profundidade do sistema radicular é equivalente à altura da planta, assim como o diâmetro de exploração do solo (AVELAR et al., 2011).

2.2 Agronegócio da mamona

2.2.1 Cenário mundial

Desde 1987, Índia, China e Brasil se destacam como maiores produtores mundiais de mamona em baga, tanto em área colhida quanto em quantidade produzida. Na safra de 2004/2005 esses três países participaram com aproximadamente 94% de toda a mamona em baga produzida no mundo (SANTOS; KOURI, 2006). Com relação ao óleo de mamona Índia, China e Brasil, também se destacam em nível mundial como os maiores produtores. Neste cenário, o Paraguai também se destaca como maior exportador de mamona em baga do mundo, sendo que seu principal comprador tem sido o Brasil. Como principais países importadores destacam-se a Alemanha e a Tailândia (SANTOS; KOURI, 2006).

Em termos de produção, o Brasil já ocupou a primeira posição mundial, no período 1978/1982, quando contribuía com 32% do montante produzido. Todavia, o país perdeu esta posição no período 1983/1987. Nas safras de 2004 e 2005, apesar da recuperação observada, o país foi responsável por apenas 11 e 13% do montante produzido, respectivamente, ocupando a terceira posição (SANTOS; KOURI, 2006).

Quanto ao óleo de mamona, Índia, China e Brasil também vêm se destacando, desde 1987, como maiores produtores mundiais, sendo que a participação conjunta destes três países em 2003 chegou à escala de 93% de todo o óleo produzido no mundo. De acordo com Santos e Kouri (2006), o Brasil já ocupou o primeiro lugar em produção de óleo de mamona no mundo no período compreendido entre os anos de 1978 e 1982, mas perdeu esta posição para Índia a partir de 1983 e depois de 1988 perdeu a segunda posição para a China.

O mercado mundial de mamona em baga é bastante restrito, contando com a participação de poucos países. Maior destaque é dado à comercialização do óleo de mamona que é consumido principalmente em países mais industrializados.

Na safra do ano de 2009 a Índia, a China e o Brasil continuaram sendo os maiores produtores mundiais com uma produção de 1.098.000, 190.000 e 90.384 toneladas, respectivamente (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2011).

2.2.2 Cenário Nacional

Desde 1978 têm sido observadas grandes oscilações na ricinocultura, em âmbito nacional, tanto em área plantada, quanto em quantidade produzida, com forte tendência de queda até o ano de 2005. Contudo, verifica-se que a safra brasileira do ano agrícola 2004/2005, da ordem de 161.468 toneladas, em uma área colhida de 223.589 hectares, representa extraordinária recuperação da produção nacional em relação às safras dos dez anos anteriores. Fato que Kouri e Santos (2006) justificam por meio da expectativa provocada pelo lançamento de diversos programas, no âmbito de diferentes esferas governamentais, visando incentivar e aperfeiçoar a produção de biodiesel no país, priorizando oleaginosas que propiciem maior emprego de mão-de-obra e insira regiões que estejam à margem do processo de desenvolvimento econômico.

No Brasil, observam-se os estados do sul e sudeste alcançando os maiores índices de produtividade com destaque para São Paulo e Minas Gerais onde dados preliminares do ano agrícola 2009/2010, divulgados pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2011), apresentaram médias de 1.998 e 1.059 kg ha⁻¹, enquanto os estados do nordeste, como Bahia e Rio Grande do

Norte, que possuem as maiores áreas plantadas, tiveram médias de produtividade de 730 e 690 kg ha⁻¹.

Considerando os estados, os maiores produtores são: Bahia, Ceará e Minas Gerais com produção registrada em 2008/2009 de 62.200, 14.200 e 10.200 toneladas, respectivamente (CONAB, 2011).

2.3 Técnica de cultivo

Traçado este panorama e ante a observação da crescente demanda pelo óleo da semente de mamona, amplamente utilizado na indústria e sua aplicação como biocombustível, a forma de cultivo da mamoneira tem se diferenciado da tradicional onde se utiliza cultivares de porte médio e alto, colheita manual e baixa densidade de plantio (SCHLICK et al., 2009b). Recentemente, tem-se observado o uso de tecnologias modernas para o cultivo em grandes áreas.

Segundo Lara et al. (2009), apesar da rusticidade da mamoneira, o seu grande potencial produtivo pode ser elevado com materiais genéticos melhores adaptados a regiões específicas. A cultura familiar da mamoneira dá lugar à agricultura tecnificada, através da melhoria das técnicas de produção resultando em alta produção e lucratividade ao produtor. O desenvolvimento de cultivares e híbridos produtivos, com maturação precoce e uniforme, porte baixo, frutos indeiscentes, visando à colheita mecanizada, e adaptados às regiões específicas, faz-se necessário para elevação do retorno econômico da cultura.

Schlick et al. (2009a), estudando espaçamento de plantio da mamoneira, evidenciam que essa oleaginosa pode ter sua produtividade influenciada pelo arranjo e população de plantas. Segundo estes autores, a elevada densidade de plantas pode induzir a produção de plantas muito altas e com caule fino, sujeitas ao acamamento. Por outro lado, baixas populações facilitam a infestação de

plantas daninhas e a formação de plantas com floração tardia, caule grosso e ramos laterais longos, o que dificulta a colheita mecanizada.

De acordo com Ramos et al. (2008), com os avanços tecnológicos alcançados dentro desta cadeia produtiva, tem-se verificado ainda, a possibilidade de utilização de semeadoras-adubadoras mecânicas para o plantio direto de sementes de mamona.

Com base na aplicação das tecnologias mencionadas, para o cultivo da mamona, Moro (2008) estudou a interação do cultivo da mamoneira com sistemas de produção das culturas graníferas onde a mamoneira é inserida no processo de rotação/sucessão com o objetivo de maximizar a produtividade da referida oleaginosa, cultivando-a tanto na safra, quanto na safrinha, em sucessão as culturas de outono/inverno e de verão.

2.4 Utilização da mamona

Na mamoneira, a folha é fonte de clorofila, utilizada na indústria alimentícia, cosmética e de produtos de higiene. Do caule, retiram-se fibras para a indústria têxtil e para a fabricação de celulose. Da semente, é extraído um óleo de excelente qualidade, com múltiplas utilidades. O subproduto da extração de óleo é a torta de mamona, que constitui um ótimo adubo orgânico, rico em nitrogênio, fósforo e potássio (COSTA et al., 2004).

Contudo, o óleo da semente é o principal produto extraído da mamoneira e segundo Souza (2007), dentre as diversas aplicações possíveis de serem dadas a este óleo, destaca-se o uso medicinal e cosmético, na construção civil, na indústria automobilística, em revestimento de poltronas e paredes de avião, na fabricação de plásticos biodegradáveis, fibra ótica, tintas, vidros a prova de bala, lubrificantes e próteses ósseas. Também é empregado como aditivo do

querosene em tanques de aviões e foguetes espaciais, além da produção de biodiesel.

O óleo da semente de mamona é de grande interesse para a indústria química, pois este possui cerca de 90% de ácido graxo ricinoléico e possui uma hidroxila (OH) ligada a cadeia de carbono que lhe confere propriedades como alta viscosidade, estabilidade física e química e solubilidade em álcool a baixa temperatura (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2010). O teor de óleo na semente varia de 35% a 55%, dependendo da cultivar e das condições ambientais.

Segundo Pires et al. (2004), outro fator importante, é que diferentemente da soja, girassol, amendoim e outras oleaginosas, a mamoneira não é destinada à alimentação humana, conseqüentemente, sob o ponto de vista social não haveria concorrência com tal mercado.

A partir da criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o governo brasileiro impôs metas de adição de biodiesel no diesel comum, nos valores de 2% até 2008 e 5% até 2013, meta esta que foi antecipada para janeiro de 2010, e para que esta demanda seja atendida, o governo também considera a contribuição do óleo da mamona. Uma das principais razões que levaram a escolha desta cultura como uma das oleaginosas que fornecerão matéria-prima para o desenvolvimento deste programa se relaciona ao fato de já haver tecnologia adaptada para seu cultivo no nordeste, visando assim, a inclusão dos pequenos agricultores da região, fornecendo alternativa de renda.

2.5 Mamoneira irrigada

Segundo Beltrão (2004), no Brasil, as áreas irrigadas com mamoneira são poucas, com alguns registros na Bahia, no Rio Grande do Sul e no

Maranhão, atingindo mais de 6.000 kg de baga ha⁻¹, em alguns casos. Este fato e a constatação de ganhos significativos de produtividade da mamoneira irrigada demonstram uma perspectiva de potencial crescimento da utilização desta técnica, aliado à expansão da área cultivada e com o melhor aproveitamento do seu cultivo em áreas consideradas marginais.

No entanto, a mamoneira é uma planta que produz bem com precipitações mínimas anuais entre 600 e 750 mm anuais segundo (TÁVORA, 1982), mas apresenta resposta positiva à irrigação e boas condições de fertilidade do solo com ganhos significativos de produtividade. Já Beltrão et al. (2005), estabelece uma amplitude de variação maior, com valores de precipitação entre 500 e 1000 mm anuais.

Apesar de a mamoneira ser uma planta resistente a certos níveis de déficit hídrico, Carvalho (apud BARROS JÚNIOR et al., 2008) mostra que o potencial de produtividade médio para duas cultivares variaram de 1.500 kg ha⁻¹ em condições de sequeiro a 5.000 kg ha⁻¹ em condições irrigadas, o que demonstra a viabilidade da implantação de um sistema de irrigação para promover ganhos de produtividade. Este autor, ainda cita a relevante produção de matéria seca da mamoneira quando esta não é submetida a déficit hídrico.

Gonçalves et al. (2008), avaliando o desempenho de cultivares de mamoneira no semi-árido mineiro sob irrigação, observaram em vários genótipos, produtividade acima de 4.000 kg ha⁻¹.

Em experimentos realizados na Rússia, Baranov (apud BELTRÃO, 2004), confirmou que a mamoneira responde bem a irrigação, com incrementos de produtividade bastante consideráveis, de mais de oito vezes que o cultivo em regime de sequeiro, podendo aumentar dependendo do solo, da cultivar, das condições do tempo e do clima do local.

A irrigação na mamoneira também tem sido utilizada na antecipação do plantio, conforme citado por Souza et al. (2007b) que, trabalhando com manejo

e épocas de plantio da mamoneira no estado do Ceará, constataram que com irrigação suplementar é possível antecipar o plantio na região aumentando a produtividade e observaram que em condições de elevada disponibilidade hídrica a mamoneira apresenta maior crescimento vegetativo e retardamento do florescimento.

Moreira et al. (2009), testando lâminas crescentes de irrigação para a mamoneira e estabelecendo o manejo da irrigação com base na evaporação medida no tanque classe “A”, observaram ganhos de produtividade até certo nível de aumento da lâmina aplicada que foi estimado em 105,5% da evaporação medida no tanque e, acima destes valores, notou-se uma queda na produtividade evidenciando o efeito maléfico do excesso hídrico. Silva et al. (2008) estabelecendo previamente valores crescentes de lâminas a serem aplicadas via irrigação por aspersão, encontraram um valor ótimo intermediário, acima do qual houve queda na produção e abaixo do qual o potencial produtivo da cultivar não foi totalmente explorado.

Tais efeitos, relacionados ao excesso e ao déficit hídrico na mamoneira, também foram estudados por Beltrão, Souza e Santos (2006) onde observou-se em pesquisas realizadas com a cultivar BRS 149 Nordestina, até os 60 dias após a germinação, alterações fisiológicas e bioquímicas no metabolismo das plantas, ocasionado pelo excesso de água no ambiente edáfico, com conseqüente anoxia ou falta de oxigênio.

Estudando a eficiência do uso da água para duas cultivares de mamoneira, Barros Júnior et al. (2008), observaram que a produção de fitomassa nas cultivares não submetidas a déficit hídrico, apresentaram elevada eficiência na transformação da água consumida em matéria seca.

O conhecimento sobre a irrigação da mamoneira no Brasil e no mundo é mínimo, razão por que se deve investir nesta área para que se tenha a definição clara de diversos sistemas de cultivo desta oleaginosa, em regime de irrigação.

Assim se justifica a realização de estudos que visem identificar genótipos adequados ao regime irrigado; lâminas de água e turnos de rega; determinação dos Kc's para as diversas fases da cultura; qualidade da água de irrigação; tolerância a sais e ao sódio trocável no solo; respostas ao uso de novas modalidades de plantio, como mudas e espaçamentos; resposta ao uso de substâncias hormonais; adubação e sua interação com a água de irrigação; além de diversos outros aspectos, como a consorciação com outras plantas oleaginosas ou alimentares, visando o melhoramento da produção de óleo por unidade de área.

2.6 Evapotranspiração

2.6.1 Conceitos

A base para o adequado manejo da irrigação consiste em quantificar a água a ser aplicada a determinada cultura e esta é associada à capacidade do solo e da vegetação em transferir água para a atmosfera, em determinada condição meteorológica.

A água de um solo úmido ou de uma superfície d'água qualquer em contato livre com a atmosfera (reservatório, lago, mar etc.) pode evaporar, sendo o processo regido por leis puramente físicas e denominado evaporação. Na evaporação da água de uma planta, fenômenos biológicos limitam as leis físicas e a esse processo se denomina transpiração. Quando ambos os processos ocorrem simultaneamente, como ocorre em uma cultura vegetal, utiliza-se o termo evapotranspiração, sendo esse, portanto, o termo para expressar o processo de transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera (REICHARDT; TIMM, 2004).

O termo evapotranspiração, foi primeiro utilizado por Thornthwaite, no início da década de 40 para expressar essa ocorrência simultânea (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). Anteriormente utilizava-se o termo uso consuntivo, porém este considerava a água retida na planta. De acordo com Allen et al. (1998), evaporação e transpiração, de fato ocorrem simultaneamente e não há uma maneira fácil de quantificar os dois processos em separado.

No que se refere a evaporação, Reichardt e Timm (2004) destacam que o vento afeta a evaporação, ou acelerando-a com a entrada de ar mais seco, ou retardando-a com a entrada de ar mais úmido e que esta movimentação atmosférica mantém um “poder evaporante” entendido como a capacidade de secamento das superfícies, mesmo à sombra sem a incidência de radiação solar direta. Além do vento, a temperatura é outro elemento meteorológico que influencia diretamente esse processo de evaporação, aumentando ou diminuindo sua intensidade conforme ocorra elevação ou diminuição da temperatura.

Quanto à transpiração, Vieira (2009) afirma que se trata da perda de água por evaporação que ocorre nas plantas e animais e por ocorrer em um meio biológico, a evaporação nesse caso, é denominada transpiração. Segundo Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) a água evaporada neste processo é utilizada nos diversos processos metabólicos necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Nos vegetais, a transpiração ocorre predominantemente nas folhas e no interior destas, a transpiração ocorre a partir das paredes celulares em direção aos espaços intercelulares. Daí, por difusão, o vapor d'água se transfere para a atmosfera pelos estômatos que atuam como regulador da taxa de transpiração. Na maioria dos vegetais, os estômatos permanecem abertos durante o dia e fechados durante a noite, ficando também fechados em situações de elevado estresse hídrico.

Esta situação ocorre quando o solo não contém água disponível às plantas e quando há água disponível no solo, mas a planta não consegue

absorvê-la na mesma velocidade e quantidade estabelecida pela demanda atmosférica. E este fator é determinado pela baixa umidade relativa do ar atmosférico ou pelo elevado déficit psicrométrico.

Para Allen et al. (1998), a força motriz necessária para remover o vapor de água da superfície de evaporação é a diferença entre a pressão de vapor de água na superfície de evaporação e da atmosfera circundante. Como produto da evaporação, o ar ao redor se torna gradualmente saturado e o processo será mais lento e pode parar se o ar úmido não for transferido para a atmosfera. A substituição do ar saturado com ar mais seco depende muito da velocidade do vento. Assim, a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento são elementos meteorológicos a considerar ao avaliar o processo de evaporação.

Em uma área vegetada no período inicial de crescimento da cultura o processo de transferência de água para a atmosfera é dominado pela evaporação do solo que nesta fase se encontra muito exposto em função do pequeno índice de área foliar da cultura em relação à superfície de exposição abaixo da mesma. E quando a cultura se encontra bem desenvolvida, então essa transferência passa a ser dominada pela transpiração da cultura.

Para a determinação da evapotranspiração, existem várias técnicas de medidas e modelos matemáticos de estimativa. As medidas são obtidas por meio de tanques evapotranspirométricos ou lisímetros (SILVA; RAO, 2006). Os modelos são expressões algébricas que tentam descrever os processos físicos relacionados com o fluxo de vapor d'água, em função dos elementos meteorológicos.

Em 1948, Thornthwaite, introduziu o termo evapotranspiração potencial, sendo posteriormente aperfeiçoado por diversos autores (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). A definição deste termo de forma resumida corresponde à água utilizada por uma extensa superfície vegetada, em

crescimento ativo e cobrindo totalmente o terreno, estando este bem suprido de umidade, ou seja, em nenhum instante a demanda atmosférica é restringida por falta d'água no solo. Já como um acréscimo a esta definição, ficou estabelecido que a vegetação que atende essas exigências, em países de clima tropical, é a grama. Em países de clima temperado tem sido utilizada a alfafa. No Brasil, foi adotada a grama batatais (*Paspalum notatum*) por ser a cobertura já utilizada nos postos meteorológicos e também porque atende as demais exigências.

O conceito de evapotranspiração de referência foi desenvolvido em 1977 como um prático e definitivo substituto para o termo evapotranspiração potencial. A evapotranspiração de referência é uma função das condições meteorológicas locais, representa a evapotranspiração de uma vegetação definida e serve como um índice de evaporação o qual engenheiros, hidrólogos, e outros técnicos podem prever a evapotranspiração de uma série de culturas aplicando os coeficientes de cultura (ALLEN et al., 2005). Comumente, a evapotranspiração de referência também tem sido compreendida como um parâmetro para se obter a evapotranspiração de uma cultura qualquer pelo processo de duas etapas, onde se estima a ETo e se estabelece o coeficiente de cultura mais adequado para determinado estágio de desenvolvimento da cultura, assim da multiplicação entre estes dois termos obtém-se a ETc.

Jensen, Burman e Allen (1989), definiram evapotranspiração de referência como a taxa na qual a água é removida da superfície do solo e planta, expressa como taxa de transferência de calor latente por unidade de área, expressa em lâmina de água evaporada e transpirada de uma cultura de referência.

Já Smith (apud PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997), define evapotranspiração de referência como sendo aquela de uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12 m, albedo igual a 0,23, e resistência da cobertura ao transporte de vapor d'água igual a 69 s m^{-1} , que representaria a

evapotranspiração de um gramado verde, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem falta de água. Este conceito foi amplamente adotado e se tornou o padrão recomendado pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) a partir de 1990.

Para Allen et al. (1998), o conceito de evapotranspiração de referência foi introduzido para se estudar a demanda evaporativa da atmosfera independentemente do tipo de cultura, estágio de desenvolvimento da cultura e das práticas de manejo adotadas.

Para realização deste tipo de estudo, ou buscando determinar a evapotranspiração, há dois métodos amplamente utilizados e que são separados em métodos diretos e indiretos. Dentre os métodos diretos os principais são lisímetros, parcelas experimentais no campo, controle da umidade do solo e método da “Entrada-Saída”, em grandes áreas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008).

A partir dos métodos indiretos, para se obter a evapotranspiração, multiplica-se o valor encontrado por um fator K , a ser determinado para cada região e para cada método indireto. Dessa forma, a partir de estações de evapotranspiração compostas de lisímetros é possível determinar o fator K em nível regional para as diferentes culturas e assim, calcular a evapotranspiração na região.

Os lisímetros são equipamentos caros e necessitam de conhecimento técnico específico para serem manejados, o que torna inviável a instalação destes em propriedades agrícolas com o fim de determinar diretamente a evapotranspiração da cultura que se deseja irrigar. Assim se destaca a importância de estudos realizados nessa área pelas instituições de pesquisa.

Os métodos indiretos são divididos em evaporímetros e equações. No que se refere às equações utilizadas para estimativa da evapotranspiração de referência, a partir do conceito proposto por Thornthwaite em 1944, Penman

propôs algumas melhorias que possibilitaram a formulação de modelos matemáticos para realização das estimativas. De acordo com Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997), o aperfeiçoamento do conceito proposto por Penman em 1956 possibilitou a consideração de que a evapotranspiração era uma função exclusiva do balanço vertical de energia, sem interferências advectivas.

Particularidades próprias da condução da grama criaram dificuldades para manutenção da mesma nas condições recomendadas e a aplicação do modelo em locais distintos levava às calibrações laboriosas e aumentavam o grau de imprecisão da estimativa. Outro problema se deve a exclusão da influência causada pela resistência da superfície à transferência de vapor d'água. Diante desta observação, Monteith em 1960, propôs um novo modelo para estimar diretamente a evapotranspiração, incluindo a resistência aerodinâmica e a resistência do dossel ao fluxo de vapor d'água, minimizando os problemas encontrados na aplicação do modelo de Penman que lhe serviu como base (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). Fato que levou este método a ser denominado de Penman-Monteith.

Em 1990, a partir de um encontro realizado entre técnicos especialistas em evapotranspiração e das proposições feitas por Smith, a FAO, dentre outros objetivos estabelecidos para este encontro, passou a recomendar o método Penman-Monteith – após a parametrização deste para a cultura hipotética, cujas características se assemelham a grama – para a estimativa da ETo. Este método passou então a se chamar Penman-Monteith-FAO que é bem aceito internacionalmente pelos técnicos da área, pelo fato de ser bem completo em termos dos elementos meteorológicos considerados e da sua adaptabilidade a diferentes condições climáticas.

Para estimativa da evapotranspiração de referência, existem diversos métodos que não serão aqui abordados, mas o principal e o adotado neste

trabalho é o Penman-Monteith-FAO, cujas variáveis envolvidas e a fórmula propriamente dita são apresentadas adiante.

2.6.2 Coeficiente de cultura (Kc)

O coeficiente de cultura surgiu da necessidade de converter evapotranspiração de referência em evapotranspiração da cultura de interesse e expressa as diferenças de resistência aerodinâmica e resistência da cultura (dossel) à difusão do vapor d'água, propriedades da copa e a própria condição de cobertura vegetal do solo pelas diferentes culturas.

O coeficiente de cultura é um parâmetro que varia pouco com as condições meteorológicas e estas são computadas na estimativa da E_{To} , enquanto o K_c representa mais e melhor as condições específicas relacionadas às culturas. Assim, para se estabelecer a evapotranspiração da cultura (E_{Tc}), segundo Allen et al. (1998), basta multiplicar-se a E_{To} pelo K_c .

Assim, o K_c também é dado pela razão entre E_{Tc} e E_{To} , e observa-se que este parâmetro representa uma integração dos efeitos de quatro características básicas que distinguem a cultura da grama utilizada como referência. As características mencionadas são: altura da cultura (plantas de porte maior influenciam o aumento do termo de resistência aerodinâmica (r_a) da equação de Penman-Monteith e a transferência turbulenta do vapor d'água); reflectância; resistência do dossel à difusão de vapor d'água e a exposição diferenciada do solo afetando o processo de evaporação da água.

Segundo Medeiros, Arruda e Sakai (2004), o coeficiente de cultura é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas, devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais, nas quais será utilizado. Todavia, a sua determinação, sob condições de campo, exige um grande esforço de pessoal técnico, equipamentos e custos devido à quantidade de

informações, controles e monitoramentos necessários ao balanço hídrico numa área irrigada.

O coeficiente de cultura no período inicial de desenvolvimento de uma cultura é baixo, pois esta cobre uma pequena fração do terreno. À medida que a planta se desenvolve e aumenta a porcentagem de cobertura do solo o coeficiente de cultura também aumenta e atinge um valor máximo nos casos em que a cobertura do solo é total. Já quando a planta entra no período de senescência o valor do coeficiente de cultura volta a decrescer.

A duração das fases da cultura é determinada, preferencialmente, para cada região de interesse e seus intervalos são demarcados em função de características, tais como fração de cobertura do solo (f_c) ou índice de área foliar (IAF), altura da planta (h), estágio do florescimento e graus de maturação dos frutos e das folhas. Na Tabela 1 é feita uma caracterização destas fases.

Tabela 1 Caracterização das fases fenológicas das culturas

Fase	Denominação	Característica
I	Inicial	A cultura apresenta fração de cobertura (f_c) inferior a 10%.
II	Crescimento	Acentuado crescimento vegetativo
III	Intermediária (Produção)	Florescimento e a f_c é máxima (10 a 80%)
IV	Final (Senescência)	Maturação e final do ciclo de cultivo

De modo geral, Allen et al. (1998), apresentam um modelo de ajuste da curva de K_c para as culturas agrícolas. A curva ajustada deste modelo é evidenciada na Figura 1.

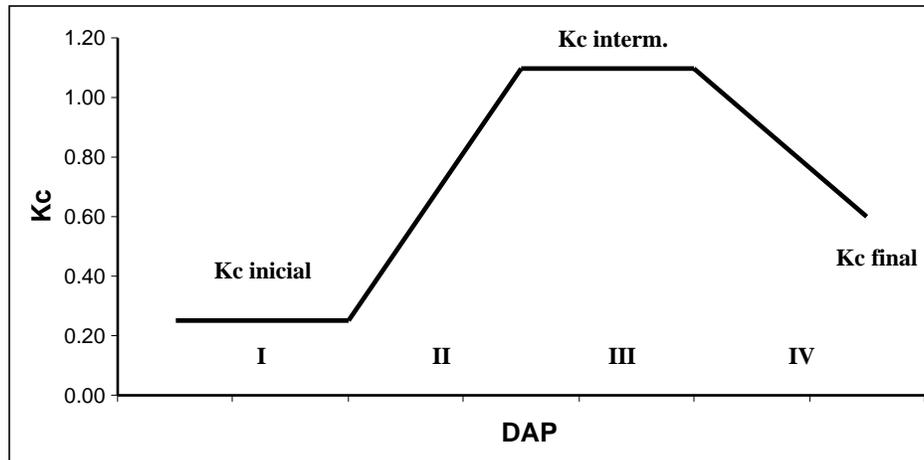


Figura 1 Curva do coeficiente de cultura (Kc) com os respectivos nomes e identificação das fases

As tendências de mudança do coeficiente de cultura em função das condições locais, características específicas da cultura utilizada e dos períodos de crescimento, são representadas na curva. Apenas três valores de Kc, obtidos a partir de dados médios (recomenda-se que esta média seja feita para intervalos maiores que 10 dias), são necessários para descrever e construir a curva de coeficiente de cultura: um que represente a fase inicial (Kc inicial), um para representar a fase intermediária (Kc intermediário) e outro para o final do ciclo (Kc final) (ALLEN et al., 1998).

Observando que o coeficiente de cultura é influenciado pela porcentagem de cobertura do solo, destaca-se que no manejo de irrigação, ao utilizar este parâmetro, a presença de ervas daninhas podem influenciar o real valor de Kc a ser aplicado devido ao aumento da cobertura do solo e ao fato de estas também utilizarem água do solo nos seus processos fisiológicos.

Para a determinação do coeficiente de cultura faz-se necessário então, a aplicação de algum método para estimar e ou medir a evapotranspiração de referência e que se tenha conhecimento da evapotranspiração da cultura em

todas as suas fases, assim, K_c é dado pela relação ET_c/ET_o . No caso da mamoneira o K_c e conseqüentemente a ET_c , são fatores ainda pouco estudados e na literatura encontra-se um número limitado de trabalhos visando a determinação destes parâmetros.

2.7 Lisimetria

A lisimetria é um método que permite a determinação da evapotranspiração de forma direta e dentro dos métodos diretos é tida como a forma mais precisa. Ao equipamento utilizado para medir a evapotranspiração dá-se o nome de lisímetro. Por definição, Pereira, Villa Nova e Sediyaama (1997), estabelecem que este equipamento consiste de uma caixa impermeável, contendo um volume de solo e que permite conhecer com detalhe alguns termos do balanço hídrico do volume amostrado.

Pereira, Villa Nova e Sediyaama (1997), também afirmam que os lisímetros foram concebidos para estudar a drenagem profunda e a concentração de nutrientes extraídos do volume de solo. Sendo que a evapotranspiração passou a ser determinada como um subproduto e daí serem conhecidos também como evapotranspirômetros.

Fato importante na utilização dos lisímetros é que a medição feita é uma leitura real da evapotranspiração ocorrida considerando absolutamente todos os fenômenos físicos, biológicos e meteorológicos envolvidos no processo de transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera.

Os lisímetros podem ser de pesagem mecânica, flutuante, hidráulico, de lençol freático constante ou de drenagem.

Bernardo, Soares e Mantovani (2008) descreve com detalhes e imagens os lisímetros de pesagem mecânica, flutuante, hidráulico e de drenagem. O

lisímetro de lençol freático constante é descrito por Amorim (1998), Dias (1995) e Oliveira (1995).

Carvalho et al. (2007), Figueiredo (2010), Santos et al. (2008) e Silva (2003) dentre outros, trabalharam com lisímetro de pesagem mecânica na determinação da evapotranspiração de diferentes culturas e em diferentes regiões.

Khan, Gil e Costa (1998) utilizou lisímetro hidráulico para determinar a evapotranspiração potencial em Maturín na Venezuela.

Materán et al. (2009), Klar e Fontes (2003) e Sandanielo e Lunardi (2002), dentre outros utilizaram lisímetro de lençol freático constante para estudar E_{Tc} e K_c em diferentes culturas.

2.7.1 Lisímetro de drenagem

Na descrição feita por Bernardo, Soares e Mantovani (2008), sobre este tipo de lisímetro, de forma geral, o mesmo consistirá de um tanque enterrado no solo com dimensões pré-estabelecidas, deixando a sua borda sobressair da superfície do solo cerca de 5 cm. No fundo deste, instala-se um tubo para conduzir a água percolada no perfil até o poço coletor. Sobre o fundo, coloca-se uma camada de aproximadamente 10 cm de brita e acima desta uma camada de areia, com o fim de garantir a existência de um gradiente que promova o movimento uniforme de água em todo o volume do solo no sentido da superfície para o fundo do tanque e para que não haja perda de solo do tanque na água drenada. O tanque é preenchido com o solo proveniente da escavação com o cuidado de manter a sequência de retirada das camadas. A Figura 2 mostra um esquema deste tipo de lisímetro.

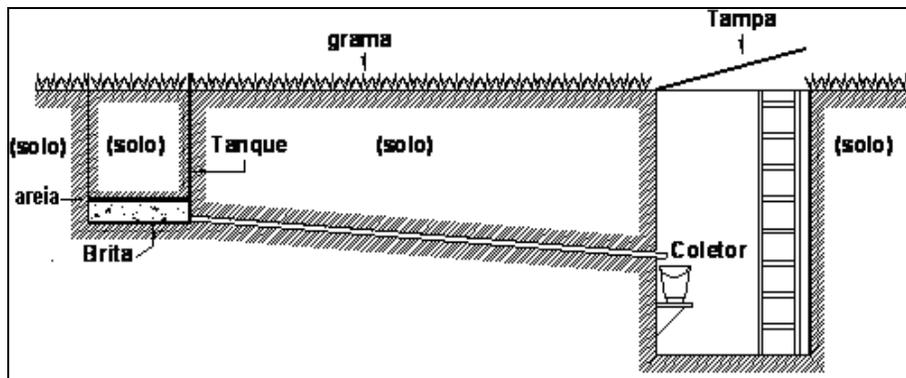


Figura 2 Esquema de um lisímetro de drenagem instalado

Quanto ao material utilizado para fabricação dos lisímetros, dimensão e formatos dos mesmos, não há uma convergência de opiniões entre os vários autores que já trabalharam com este método. Santos e Montenegro (2009), pesquisando o consumo hídrico da cenoura, aproveitaram uma caixa de água circular fabricada em fibra de vidro com formato cônico (em profundidade) e com área superficial de 1,52 m² e cujos diâmetros superior e inferior foram de 1,39 e 1,10 m respectivamente. Bueno et al. (2009), buscando determinar o coeficiente de cultura para o capim tanzânia, também utilizou uma caixa de água, porém fabricada com cimento amianto de dimensões retangulares com área de 1,43 m². Medeiros (2002), trabalhando com a estimativa da ETo a partir de fórmulas empíricas e de lisimetria instalou lisímetros fabricados em chapas de aço de 6 mm de espessura com dimensão quadrangular de 1,5 x 1,5 m e 1 m de profundidade.

No que se refere ao manejo do lisímetro, Reichardt e Timm (2004) recomendam inicialmente molhar o solo até aparecer água de drenagem no poço de coleta e depois aguardar de 1 a 2 dias para a drenagem cessar e poder se considerar a água do solo em equilíbrio e nessas condições iniciar o período de medidas, em que a evapotranspiração é mensurada pela diferença entre as

quantidades de água aplicada e percolada, ficando a cargo da prática do operador quantificar a água a ser reposta.

Santos e Montenegro (2009), aplicaram o necessário para ocorrer a drenagem de 10 a 20% da lâmina de reposição e calcularam esta lâmina com base em volume, considerando a área superficial (1,52 m²) e a altura da lâmina pela diferença entre irrigado e drenado sendo esta irrigação feita através de microaspersão. Já Bueno et al. (2009), aplicaram de 5,59 mm a 11,18 mm, com o objetivo de sempre drenar parte da água colocada em cada lisímetro e esta irrigação foi feita manualmente.

Na literatura consultada, não foi encontrado nenhum relato de trabalho de pesquisa envolvendo lisímetro de drenagem, nem outro tipo qualquer de lisímetro, para medição da evapotranspiração da mamoneira e para determinação do seu coeficiente de cultura.

Finalmente, diante do referencial teórico apresentado vê-se a necessidade do complemento e de pesquisas adicionais proporcionando o melhor conhecimento para o manejo da irrigação na cultura da mamoneira, e neste caso específico, focou-se o objetivo a ser alcançado por este trabalho, na determinação do coeficiente de cultura da mamoneira.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área de pesquisa do Setor de Agrometeorologia e Climatologia do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras, MG. O solo dessa área é classificado originalmente como Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). As coordenadas geográficas são as seguintes: latitude 21° 14' S, longitude 45° 00' W e a altitude é de 918,8 m, tendo como referência a Estação Climatológica Principal, pertencente a rede de observações meteorológicas de superfície do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – no convênio UFLA/INMET. A classificação climática proposta por KÖPPEN e confirmada por Dantas, Carvalho e Ferreira (2007) é do tipo Cwa, com inverno seco e chuvas predominantes no verão, com precipitação total média anual de 1530 mm e temperatura média anual de 19,4 °C.

3.1 Preparo de solo e adubação

O preparo do solo ao redor dos lisímetros foi feito com uma gradagem pesada para incorporação no solo dos resíduos vegetais seguida de uma gradagem leve para homogeneizar e destorrar o solo. Com um sulcador foi feita a abertura dos sulcos de aproximadamente 0,20 m de profundidade.

A adubação foi realizada em dois parcelamentos de 300 kg ha⁻¹ do adubo NPK 8-28-16 distribuído na linha de plantio, inclusive dentro dos lisímetros, para suprir as exigências nutricionais da mamoneira, visando atender a recomendação de Guimarães et al. (1999).

3.2 Curvas de retenção de água no solo

A curva de retenção de água no solo foi obtida para as camadas de 0 a 0,20 m; 0,20 a 0,40 m; e 0,40 a 0,60 m sendo que esta última foi utilizada para representar também as camadas de 0,60 a 0,80 m e 0,80 a 1,00 m pelo fato de nestas profundidades não haver diferença significativa para este atributo do solo, uma vez que os tratos culturais aplicados a lavoura não alteram a estrutura física do solo nestas camadas.

As referidas camadas foram amostradas e em laboratório tiveram determinados os pares de tensão e umidade do solo que deram origem a curva de retenção, de acordo com o modelo proposto por Van Genuchten (1980), com auxílio do programa computacional Soil Water Retention Curve (SWRC), elaborado por Dourado Neto et al. (1990). As equações ajustadas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Equações de retenção de água no solo para as três camadas observadas

Camadas (m)	Equações ajustadas
0 – 0,20	$\theta = 0,221 + \frac{0,377}{\left[1 + (0,228 \times \psi_m)^{1,879}\right]^{0,468}}$
0,20 – 0,40	$\theta = 0,230 + \frac{0,374}{\left[1 + (0,265 \times \psi_m)^{2,024}\right]^{0,506}}$
0,40 – 0,60	$\theta = 0,238 + \frac{0,423}{\left[1 + (1,134 \times \psi_m)^{1,629}\right]^{0,386}}$

Fontes: (LIMA, 2006; RIOS, 2009)

em que,

θ – umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

ψ_m – potencial matricial de água no solo (kPa).

3.3 Informações meteorológicas

Os elementos meteorológicos necessários para cálculo da evapotranspiração de referência foram obtidos na Estação Climatológica Principal pertencente ao INMET, distante cerca de 500 metros da área experimental. Foram utilizados os dados diários de temperaturas média, máxima e mínima, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade do vento e insolação. Os dados referentes à precipitação foram coletados em pluviômetro Ville de Paris instalado na área experimental.

3.4 Plantio

A cultivar utilizada foi a Al Guarany 2002 que possui porte médio, variando entre 1,6 e 2,4 m de altura, ciclo de 180 dias, caule roxo com cera e ramos formando ângulo fechado, frutos indeiscentes, sementes de tamanho médio, cor marrom escura contendo estrias cinza-claras, pesando aproximadamente 0,46 g, contendo 48% de óleo na semente e com produtividade variando entre 1.000 e 2.500 kg ha^{-1} (BRASIL, 2010).

Em plantios anteriores de mamoneira na área experimental, notou-se a infestação do terreno com o fungo *Fusarium*, o que comprometeu o desenvolvimento das sementes semeadas diretamente a campo. Por esta razão optou-se pela formação de mudas em viveiro com substrato comercial.

Para formação das mudas, utilizou-se tubetes de 120 mL que foram posicionados em bancada suspensa e sob a proteção de sombrite que

interceptava 50% da luz solar. Os tubetes foram preenchidos com o substrato Plantmax[®]. As sementes foram semeadas a 0,02 m de profundidade, sendo uma em cada tubete. Um sistema de microaspersão foi utilizado para diariamente irrigar as mudas.

A semeadura foi feita em janeiro de 2010, o transplântio em campo ocorreu no mês de março do mesmo ano, ou 50 dias após a semeadura. A incidência de constantes chuvas ao longo do mês de fevereiro impossibilitou a utilização de maquinário para sistematização do terreno, sem o risco de provocar compactação do solo e conseqüente prejuízo ao desenvolvimento do sistema radicular da lavoura.

Considerando o “efeito oásis”, fenômeno descrito por Allen et al. (1998) e Bernardo, Soares e Mantovani (2008), que pode provocar um significativo aumento da evapotranspiração, principalmente em cultivo em lisímetro como é a situação do presente trabalho, foi realizado o plantio também na área entorno da bateria de lisímetros.

No plantio em campo, bem como dentro dos lisímetros, o espaçamento utilizado foi de 0,70 m entre linhas de plantas e de 0,30 m entre plantas na linha. Destaca-se a diferença deste espaçamento em relação ao recomendado pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - CATI (AMARAL, 2002), que para esta cultivar estabelece 1,5 x 1,0 m para semeadura de verão e 1 x 1 m, em solos de baixa fertilidade e/ou semeadura de safrinha. O estande final contou com 15 linhas de plantas, de 17 m de comprimento e 10 m de largura. Do lado esquerdo e direito na continuidade das linhas de plantio, foram montados outros dois experimentos com a mesma cultivar de mamoneira e mesmas dimensões experimentais, diferenciando apenas pelos tratamentos de irrigação aplicados. Este fato contribuiu para a diminuição do referido “efeito oásis”.

O plantio no entorno teve como referência a disposição das plantas nos lisímetros a fim de estabelecer a padronização do alinhamento das plantas dentro e fora dos mesmos.

3.5 Lisímetros

A estrutura lisimétrica contou com três lisímetros de drenagem. Os tanques utilizados para compor os lisímetros foram construídos especificamente para o presente trabalho, em fibra de vidro, a fim de bem atender as particularidades inerentes a montagem do experimento. Os tanques tinham formato retangular, com dimensões de 1,2 x 1,4 m de área e 1,2 m de profundidade. O fundo dos tanques tinha formato piramidal para garantir o total escoamento da água drenada ao longo do perfil do solo para o centro do mesmo (Figura 2). Nas laterais, os tanques contavam com o reforço de barras de ferro estruturando a fibra de vidro, diminuindo o risco de ruptura dos mesmos em função de excessiva pressão exercida pelo solo nas paredes (Figura 4).



Figura 3 Detalhe do formato piramidal do fundo do tanque



Figura 4 Detalhe das barras de ferro nas paredes laterais do tanque

A água drenada era coletada no fundo do tanque por uma tubulação de PVC de 50 mm de diâmetro. Conforme mostrado na Figura 5, para evitar a entrada de brita na tubulação de saída do tanque, utilizou-se uma pequena grade de aço inoxidável sobre a qual foi adaptado um pedaço de manta sintética.



Figura 5 Detalhe da tubulação de saída do tanque sendo sobreposta pela grade e pela manta sintética

Para montagem dos lisímetros foi feita uma escavação manual no local de instalação de cada um deles. O solo foi retirado em seis camadas sucessivas de 0,20 m de espessura e essas camadas foram devidamente separadas. No preenchimento do tanque as camadas foram repostas na ordem inversa da retirada com procedimentos de umedecimento e leves compactações no intuito de aproximar o máximo possível das condições físicas originais, principalmente no que se refere a densidade do solo.

O fundo do tanque foi preenchido com uma camada de 0,10 m de brita nº 1 e sobre esta foi estendida uma manta sintética conhecida como Bidim-RP07[®] cedida pela empresa BIMIG COMÉRCIO Ltda¹.

Para evitar a formação de canal preferencial de escoamento da água na face interna das paredes dos lisímetros, aplicou-se nas mesmas, cola adesiva e

¹ A citação de marcas e modelos de produtos comerciais, não implica em recomendação expressa pelo presente trabalho.

sobre estas uma fina camada de solo retirado da trincheira que foi aberta (Figura 6).



Figura 6 Face interna das paredes do tanque recobertas com cola adesiva e uma fina camada de solo, com a manta sintética estendida sobre a brita ao fundo

Para condução da água drenada até o poço coletor abriu-se valas com aproximadamente 6 m de comprimento e instalou-se uma tubulação de 32 mm de diâmetro, conforme mostrado nas figuras 7 e 8, que depositava a água em baldes plásticos de 10 L. Os baldes possuíam tampas que foram perfuradas e nas quais adaptou-se uma extensão do tubo de drenagem, a fim de que a água depositada nos baldes não se perdesse por evaporação.

O poço coletor foi aberto com dimensões de 2 x 1 m de área e 2 m de profundidade, as paredes foram construídas em alvenaria.



Figura 7 Detalhe da instalação da tubulação de drenagem dos tanques em área experimental de plantio de mamoneira



Figura 8 Detalhe dos baldes de coleta dentro do poço coletor dos lisímetros

Em cada um dos três lisímetros, foram transplantadas oito mudas, também no espaçamento de 0,3 x 0,7 m (Figura 9).

A fim de evitar o escoamento superficial da lâmina irrigada e/ou precipitada de dentro dos lisímetros para fora ou o contrário, manteve-se uma elevação de 5 cm de borda das paredes em relação ao nível do solo.



Figura 9 Disposição das mudas de mamoneira no lisímetro

3.6 Manejo dos lisímetros

A frequência da irrigação e a lâmina de reposição de água nos lisímetros foram controladas com auxílio de uma bateria de seis tensiômetros instalados nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,00 m, em um dos lisímetros. As leituras nos tensiômetros foram realizadas com tensímetro de punção digital, toda vez que se observou a interrupção da drenagem.

A partir da leitura de cada tensiômetro, estabelecia-se uma média de umidade atual do solo para todo o perfil. Os cálculos para se obter o volume de água a ser reposta nos lisímetros são mostrados nas equações a seguir:

$$LL = (\theta_{cc_m} - \theta_{a_m}) \cdot z \quad (1)$$

$$V = LL \cdot A_L \quad (2)$$

$$V_R = V + (10\% \cdot V) \quad (3)$$

em que,

θ_{cc_m} – umidade na capacidade de campo média ao longo do perfil ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_{a_m} – umidade atual média ao longo do perfil ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

z – profundidade do perfil (mm);

LL – lâmina de irrigação (mm);

A_L – área do lisímetro (m^2);

V – volume necessário para retornar a umidade do solo na capacidade de campo (L);

V_R – volume a ser repostado ao solo do lisímetro (L).

A aplicação do volume de reposição de água calculado se deu de forma manual com o uso de um regador.

O volume de água coletado nos baldes foi medido diariamente, entre 15 e 17 h. Após a medição do volume, a água era descartada em um ralo instalado dentro do poço coletor. Este volume foi acumulado entre a cessação da drenagem e subsequente aplicação de água durante o período experimental.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi então calculada a partir da equação 4:

$$ET_c = I + P - D \pm \Delta A \quad (4)$$

onde:

ETc – evapotranspiração da cultura (mm);

I – irrigação (mm);

P – precipitação (mm);

D – drenagem (mm);

ΔA – variação do armazenamento (mm).

Os valores da ETc foram obtidos pela média dos três lisímetros de drenagem e agrupados nos intervalos mínimos de 30 dias.

Após a primeira irrigação com base nas leituras dos tensiômetros, o volume de água drenado foi medido diariamente até cessar. O intervalo entre aplicação de água e fim da drenagem variou de 5 a 12 dias. Ao ocorrer o fim da drenagem da primeira irrigação, nova leitura foi feita nos tensiômetros e a água necessária para retornar todo o perfil à umidade na capacidade de campo, mais 10 % foi repostada e assim sucessivamente as aplicações de água nos lisímetros foram realizadas.

Para o cálculo da ETc, optou-se pela contabilização mínima de 30 dias e nos casos em que não houve coincidência destes com o fim da drenagem e consequente aplicação de água, seguiu-se a contagem de dias até que o número de dias coincidissem com nova aplicação de água. Assim, a ETc diária foi dada pela média das ETc's do intervalo considerado.

A umidade do solo ao redor dos lisímetros também foi controlada como forma de garantir a homogeneização das condições de umidade do solo e crescimento das plantas no espaço interno e externo aos lisímetros, além de minimizar o “efeito oásis”. A irrigação no entorno dos lisímetros foi realizada por meio de um sistema de gotejamento, com gotejadores espaçados em 0,70 m e apresentando vazão de 2,2 L h⁻¹. O manejo da irrigação no entorno dos lisímetros se deu a partir de tensiômetros instalados na área e considerando a

profundidade efetiva do sistema radicular, a fração de área molhada, calculando-se a lâmina bruta de irrigação e o tempo de funcionamento do sistema, mantendo o solo sempre próximo da umidade na capacidade de campo, com frequência média de irrigação de três dias.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada diariamente ao longo de todo o período de duração do experimento a partir da equação de Penman-Monteith FAO (Equação 5) descrita por Allen et al. (1998) e Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997).

$$ET_o = \frac{s}{s + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(s + \gamma^*)(T + 273)} 900 U_2 (e_s - e_a) \quad (\text{mm d}^{-1}) \quad (5)$$

em que,

ET_o - evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

s - declividade da curva de saturação de vapor d'água (kPa °C⁻¹);

γ* - coeficiente psicrométrico modificado;

R_n - radiação líquida (W m⁻²);

G - fluxo de calor no solo (W m⁻²);

λ - calor latente de evaporação (MJ kg⁻¹);

γ - coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹);

T - temperatura do ar (°C), média diária;

U₂ - velocidade do vento (m s⁻¹);

e_s - pressão de saturação do vapor d'água (kPa);

e_a - pressão atual do vapor d'água (kPa).

Os valores diários de ET_o estimados foram acumulados no intervalo mínimo de trinta dias, coincidindo com o intervalo utilizado para cálculo da ETC, e obtida a média do período.

Os valores de coeficiente de cultura (K_c) foram então calculados a partir da relação entre ET_c representada pela média das medidas nos lisímetros e ET_o estimada pelo método Penman-Monteith-FAO, equação 6, nos intervalos entre a interrupção da drenagem. Intervalo este que foi variável em número de dias, em função da lâmina de irrigação aplicada, das condições de demanda atmosférica e do estágio de desenvolvimento das plantas.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (6)$$

em que,

K_c – coeficiente de cultura (adimensional);

ET_c – evapotranspiração da cultura (mm d^{-1});

ET_o – evapotranspiração de referência (mm d^{-1}).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fase inicial de operação dos lisímetros

O transplântio de mudas no campo, inclusive dentro dos lisímetros teve fim no dia 28 de março de 2010. Nesse mesmo dia, atendendo a recomendação proposta por Reichardt e Timm (2004) e com o fim de garantir o completo e homogêneo molhamento do solo no interior dos lisímetros, estes foram irrigados manualmente até o momento em que se iniciou a drenagem de água nos coletores. Segundo esses mesmos autores, após 1 ou 2 dias, a drenagem cessaria e a água do solo estaria em equilíbrio. No entanto, o que se observou foi a ocorrência da drenagem se estendendo ao longo de aproximadamente três semanas.

Procurou-se interpretar essa diferença, entre o tempo necessário para o fim da drenagem encontrado na literatura e o observado no campo no presente trabalho, como sendo função do tipo de solo, uma vez que o solo trabalhado é de textura argilosa e os autores citados não mencionam para qual tipo de solo a previsão de até 2 dias seria válida.

Esta interpretação se justifica pelo fato de os demais fatores que poderiam influenciar esta variação se assemelham aos propostos pelos autores. Como exemplo, nessa mesma literatura consultada a dimensão do lisímetro sugerida foi de que a área não fosse menor que 1 m², podendo chegar a 10 m² e sua profundidade fosse no mínimo, de 0,5 m, sendo que o ideal seria entre 1 e 1,2 m. Estas dimensões ainda se aproximam das sugeridas por Bernardo, Soares e Mantovani (2008), quando mencionam dimensões mínimas de 1,5 m de diâmetro e 1 m de profundidade para lisímetro de drenagem.

As dimensões dos lisímetros utilizados neste trabalho atendem as propostas pelos referidos autores e são semelhantes às utilizadas por Fan e Wan-

jun (2009) que utilizaram as seguintes medidas, 2,6 m de comprimento, 1,6 m de largura e 1,2 m de profundidade; Klocke et al. (1993) utilizaram as medidas de 1,07 m de comprimento, 1,1 m de largura e 3,0 m de profundidade; e Bueno et al. (2009) utilizaram 1,1 m de comprimento, 1,3 m de largura e 0,7 m de profundidade; dentre outros.

Outro fator que poderia explicar a diferença entre o número de dias necessários para cessar a drenagem sugerida por Reichardt e Timm (2004) e o observado em campo para o presente trabalho é a cultura em estudo e seu estágio de desenvolvimento, uma vez que isto influenciaria na fração de cobertura do solo, mas os autores iniciam sua descrição de instalação e funcionamento dos lisímetros desde o plantio da lavoura, estágio em que a cobertura oferecida pela maioria das culturas é mínima e esta é a mesma proposta estabelecida para o presente trabalho.

Ainda segundo Reichardt e Timm (2004), na condição de equilíbrio da água no solo, poderia se iniciar o período de medidas da evapotranspiração nos lisímetros depois de cessada a drenagem, efetuando a diferença entre a água aplicada por irrigação e a percolada, sendo que a quantidade de água aplicada dependeria da prática do operador dos lisímetros.

Seguindo este raciocínio, após essas três semanas, estimou-se uma lâmina que superaria a evapotranspiração ocorrida no dia e seria o bastante para parte desta água ser drenada. Nessa primeira ocasião optou-se pela lâmina de 5 mm, considerando uma evapotranspiração média no período entorno de 3 a 4 mm d⁻¹ e em função da área do lisímetro calculou-se o volume de água a ser aplicado que foi de 8,4 L, a partir do qual, ao final de 2 dias não apresentou nenhum volume drenado. Nesse segundo dia aplicou-se um volume maior, considerando inclusive a evapotranspiração provavelmente ocorrida no período, o que resultou em um volume de 30 litros que também se mostraram insuficientes ao final de 5 dias.

Assim, ao longo do mês de maio e início de junho, de forma subjetiva e pelo método da tentativa e erro, procurou-se determinar a quantidade de água a ser reposta nos lisímetros, mas sem sucesso, esta metodologia demonstrou ser ineficiente e impraticável neste estudo, uma vez que a cultivar de mamoneira utilizada apresenta ciclo fisiológico estimado em 180 dias. Este fato levou a perda da contabilização de parte do desenvolvimento inicial da cultura (Fase I), conforme Allen et al. (1998).

A partir dessas tentativas, decidiu-se pela instalação de tensiômetros para controle das lâminas d'água aplicadas.

4.2 Manejo dos lisímetros

Com a instalação dos tensiômetros, foi possível melhorar o controle dos processos requeridos pelo método do lisímetro de drenagem, ou percolação que é a necessidade da alternância entre irrigação e/ou precipitação de um volume conhecido e a drenagem de um volume observado. Os lisímetros 1 e 2 mantiveram a mesma frequência de número de dias necessários para cessar a drenagem ao longo do período analisado. O lisímetro 3, teve uma frequência diferente sendo necessário um número menor de dias para cessar a drenagem em relação aos outros dois e também a lâmina de reposição foi sempre menor.

Na Tabela 3, é apresentado um breve resumo da planilha utilizada para controlar a entrada e saída de água dos lisímetros. Nesta tabela fica evidente a acentuada diferença no balanço hídrico entre os lisímetros 1 e 2 em relação ao lisímetro 3, sendo que neste foi necessário uma frequência menor de reposição e em volumes menores. As possíveis explicações para este fato são apresentadas a seguir, conjuntamente aos resultados de coeficiente de cultura (K_c) obtidos em cada lisímetro.

Tabela 3 Extrato da planilha utilizada no controle de entrada e saída de água dos lisímetros

DIAS	Lisímetro 1				Lisímetro 2				Lisímetro 3			
	IRRIGAÇÃO		DRENA GEM		IRRIGAÇÃO		DRENA GEM		IRRIGAÇÃO		DRENA GEM	
	L	mm	L	mm	L	mm	L	mm	L	mm	L	mm
13-ago	115,2	68,57	0,000	0,000	115,2	68,57	0,001	0,001	60	35,71	0,000	0,000
14-ago			0,000	0,000			0,000	0,000			0,000	0,000
15-ago			4,900	2,917			10,338	6,154			8,048	4,790
16-ago			1,488	0,886			1,920	1,143			0,398	0,237
17-ago			0,862	0,513			1,536	0,914			0,008	0,005
18-ago			0,208	0,124			0,754	0,449			0,000	0,000
19-ago			0,016	0,010			0,268	0,160	60	35,71	0,000	0,000
20-ago			0,010	0,006			0,100	0,060			0,124	0,074
21-ago			0,006	0,004			0,018	0,011			1,836	1,093
22-ago			0,004	0,002			0,014	0,008			0,030	0,018
23-ago	144	85,71	0,00	0,000	144	85,71	0,002	0,001	72	42,86	0,000	0,000
24-ago			0,000	0,000			0,000	0,000			0,000	0,000
25-ago			6,710	3,994			6,400	3,810			3,928	2,338
26-ago			1,620	0,964			1,938	1,154			0,070	0,042
27-ago			0,230	0,137			0,580	0,345			0,004	0,002
28-ago			0,020	0,012			0,110	0,065	72	42,86	0,000	0,000
29-ago			0,006	0,004			0,014	0,008			0,010	0,006
30-ago			0,002	0,001			0,008	0,005			1,538	0,915
31-ago	120	71,43	0,000	0,000	120	71,43	0,000	0,000			0,002	0,001
1-set			2,108	1,255			12,668	7,540	72	42,86	0,000	0,000
2-set			4,945	2,943			5,890	3,506			12,64	7,524
3-set			1,666	0,992			1,960	1,167			5,320	3,167
4-set			0,098	0,058			0,298	0,177			0,008	0,005
5-set			0,018	0,011			0,036	0,021	72	42,86	0,000	0,000
6-set			0,006	0,004			0,008	0,005			3,504	2,086
7-set			0,002	0,001			0,002	0,001			3,636	2,164
8-set			0,002	0,001			0,001	0,001			0,028	0,017
9-set	132	78,57	0,000	0,000	132	78,57	0,000	0,000	72	42,86	0,000	0,000

Na Tabela 4, são apresentados dados mensais dos elementos meteorológicos observados após a instalação dos tensiômetros até o fim do experimento em campo (01/05/2010 a 07/10/2010). Comparando esses dados

observados, com os apresentados nas Normais Climatológicas (Tabela 5), 1961-1990 (BRASIL, 1992), nota-se que os meses de julho, agosto e setembro foram mais quentes e tiveram índices pluviométricos consideravelmente mais baixos do que a média histórica do período.

Tabela 4 Valores mensais da evapotranspiração de referência (ET_o), temperaturas média (T_{méd}), máxima (T_{máx}) e mínima (T_{mín}) mensais, umidade relativa média mensal (UR), pressão atmosférica média mensal (Patm), velocidade do vento média mensal a 10 m de altura (U₁₀), insolação média mensal (n) e precipitação total mensal (Prec.)

Mês	T _{méd} (°C)	T _{máx} (°C)	T _{mín} (°C)	UR (%)	Patm (mBar)	U ₁₀ (m s ⁻¹)	n (h)	Prec. (mm)	ET _o (mm)
Maio	18,5	30,4	6,8	72	913,2	1,9	7,5	10,4	78,7
Jun.	16,1	29,0	6,2	69	916,6	2,1	7,9	3,4	66,9
Jul.	17,7	27,9	8,1	68	917,1	2,4	7,7	13,9	78,0
Ago.	18,07	30,0	6,5	53	916,2	2,6	9,6	0,0	110,1
Set.	20,1	32,8	10,1	61	913,9	2,6	7,8	43,4	115,8
Out.	20,8	31,8	10,4	70	911,9*	2,6	6,2	35,0*	21,35*

*totais acumulados até o dia 7/10/2010, quando o experimento foi encerrado.

Tabela 5 Valores de temperaturas média (T_{méd}), máxima (T_{máx}) e mínima (T_{mín}) mensais, umidade relativa média mensal (UR), pressão atmosférica média mensal (Patm), insolação média mensal (n) e precipitação total mensal (Prec.) observadas nas Normais Climatológicas (1961-1990)

Mês	T _{méd} (°C)	T _{máx} (°C)	T _{mín} (°C)	UR (%)	Patm (mBar)	n (h)	Prec. (mm)
Maio	17,5	24,7	12,7	77	915,3	7,2	40,6
Jun.	16,3	23,9	11,1	76	916,9	7,3	27,9
Jul.	15,8	23,7	10,4	72	917,1	7,9	23,4
Ago.	17,7	25,7	11,7	67	916,1	8,0	24,8
Set.	19,0	25,4	13,6	69	915,0	6,8	72,5
Out.	20,4	27,2	15,6	74	912,4	6,4	126,0

As diferenças observadas entre os valores dos elementos meteorológicos observados no período experimental e os apresentados nas Normais

Climatológicas podem explicar a maior demanda evaporativa da atmosfera ocorrida na correspondente fase III de desenvolvimento da cultura, mencionada por Allen et al. (1998), confirmada pela evapotranspiração de referência (ET_o) estimada ao longo de todo o ciclo da cultura e especialmente nos referidos meses em que a média histórica foi amplamente superada.

Tal fato, também foi observado por Medeiros, Arruda e Sakai (2004), trabalhando com lisímetro de lençol freático constante, e serviu para explicar o comportamento diferenciado da curva de K_c do feijoeiro cultivado na cidade de Campinas (SP), onde a curva composta de dados observados em intervalos de dez dias não foi tão suavizada quanto a apresentada por Allen et al. (1998). Segundo esta referência, o máximo valor de K_c para o feijoeiro seria de 1,15, mas Medeiros, Arruda e Sakai (2004), em função das condições meteorológicas no período, obtiveram valores de K_c de até 1,7. Este autor ainda cita o crescimento da cultura além das bordas dos lisímetros como fator determinante para esta tendência de elevação do valor de K_c.

4.3 Evapotranspiração da mamoneira (ET_c)

A evapotranspiração da mamoneira nos lisímetros foi estabelecida a partir da média calculada para intervalos de trinta dias ou mais, conforme houve a coincidência desse número mínimo de dias com o momento no qual se fez a reposição subsequente de água nos respectivos lisímetros.

A adoção desse critério de estabelecer a evapotranspiração da mamoneira (ET_c) em período mensal, se justifica pela maior consistência dos dados em comparação com períodos menores de quinze, dez ou três dias recomendados por Santos e Montenegro (2009), Bernardo, Soares e Mantovani (2008), Fan e Wan-jun (2009) dentre outros.

Medeiros (2008) concorda com esta adoção e fez o mesmo na determinação da evapotranspiração de referência (ET_o), com uso de lisímetro de drenagem cultivado com grama batatais em Jaboticabal (SP), pois também observou maior consistência dos dados quando agrupados em períodos de trinta dias em relação ao agrupamento em intervalos menores.

Na Figura 10, são apresentadas a ET_c média da mamoneira observada nos lisímetros 1 e 2, em intervalos de tempo pré-determinados, ao longo do ciclo da cultura e a ET_o média estimada para os mesmos intervalos.

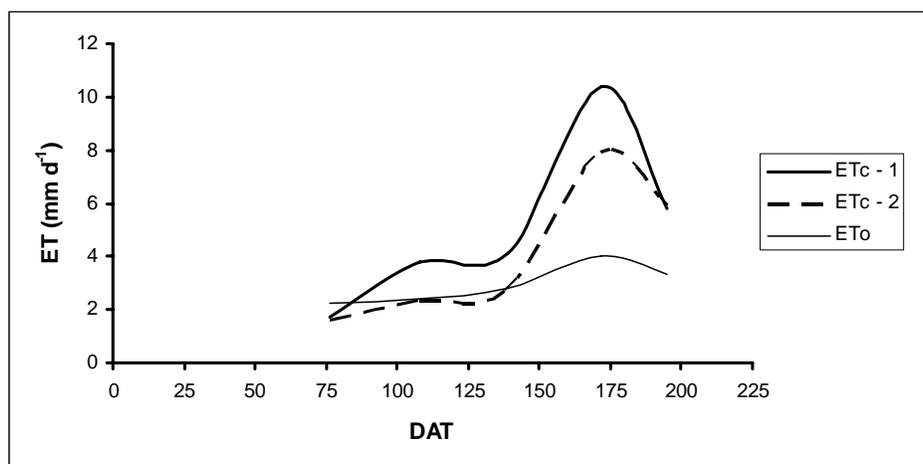


Figura 10 Evapotranspiração média da mamoneira (ET_c) medida nos lisímetros 1 e 2 e evapotranspiração de referência (ET_o) média estimada para o período experimental (01/05 a 07/10/2010)

Nota-se que a ET_c medida nos dois lisímetros, têm praticamente o mesmo valor inicial (fase I), mas com o desenvolvimento das plantas dentro dos lisímetros estes valores foram se diferenciando ao longo do ciclo, com as mesmas tendências de aumento, acima da ET_o, e atingindo valores máximos na mesma época. Também chama atenção, o fato de que na fase IV que corresponde a senescência da cultura os valores das evapotranspirações da cultura tornam a se

aproximar. Este comportamento, possivelmente, se explica pelo crescimento diferenciado das plantas entre um lisímetro e outro. Onde as plantas do lisímetro 1 provavelmente, tiveram maior diâmetro de copa (DC) e maior índice de área foliar (IAF) que as plantas do lisímetro 2. Nas fases inicial e de senescência, o DC e o IAF não diferem tanto em função de no início a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera se dar primordialmente pela evaporação devido a baixa porcentagem de cobertura do solo e na senescência a mamoneira apresentar queda das folhas que ficam secas, fazendo com que os valores de ETc fossem mais próximos nestas fases.

Fan e Wan-jun (2009), demonstram a estreita relação linear entre o aumento do índice de área foliar com a ETc, em experimento realizado nas montanhas da China com lisímetros de drenagem cultivados com grama. Bossie, Tilahun e Hordofa (2009), estudando a evapotranspiração da cebola em lisímetro de pesagem na Etiópia, também evidenciam a variação da ETc como função do estágio de desenvolvimento da planta e da demanda evaporativa da atmosfera, em determinados períodos, como elementos promotores da ocorrência de valores extremos. Silva (2003), também evidencia a ampla variação nos valores da evapotranspiração do capim tanzânia em lisímetro de pesagem, inclusive na escala horária, em estudo feito em Piracicaba (SP).

Acompanhando os resultados obtidos no lisímetro 3 (Figura, 11), verificou-se que este apresentou um comportamento diferenciado, tendo sido analisado em intervalos diferentes dos demais. Nota-se um crescimento linear da ETc durante o período específico no manejo desse lisímetro. Tal fato também foi observado por Klar e Fontes (2003) que trabalhando com lisímetro de lençol freático constante, no estudo do consumo de água do brócolis, observaram a ETc aumentando linearmente até a senescência da planta. Uma explicação hipotética para essa diferenciação é que o diâmetro de copa e/ou o índice de área foliar das plantas neste lisímetro, teriam sido elementos significativamente diferentes dos

ocorridos nos outros lisímetros. Entretanto esta hipótese é pouco provável, pois apesar de no presente trabalho não ter sido feita a medição destas variáveis, quando da condução em campo, não foi percebida nenhuma diferença visual que justifique esta diferença.

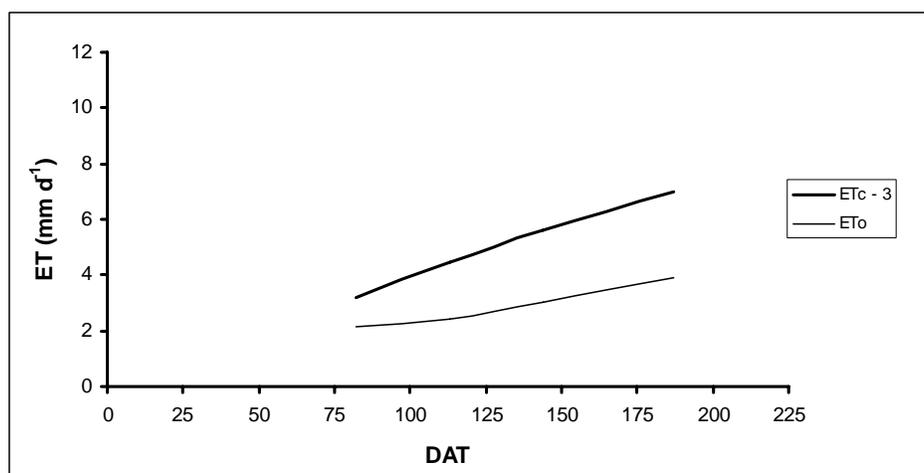


Figura 11 Evapotranspiração média da mamoneira (ETc) medida no lisímetro 3 e evapotranspiração de referência (ETo) média estimada para intervalo de tempo específico no manejo desse lisímetro

Outra possível explicação, se refere à possibilidade de durante o preenchimento do lisímetro com solo, o grau de compactação do mesmo tenha sido diferente que o promovido nos lisímetros 1 e 2, e como durante a condução do experimento não houve pisoteio do solo dentro dos lisímetros, essa diferença se manteve ao longo de todo o período experimental devido a maior porcentagem de macroporos presentes no solo deste lisímetro.

4.4 Coeficiente de cultura da mamoneira (Kc)

O coeficiente de cultura (Kc) da mamoneira foi avaliado em termos médios, realizado entre os valores obtidos nos três lisímetros de drenagem instalados na área (Figura 12). A variação do Kc analisado individualmente em cada lisímetro também é apresentada na Figura 13.

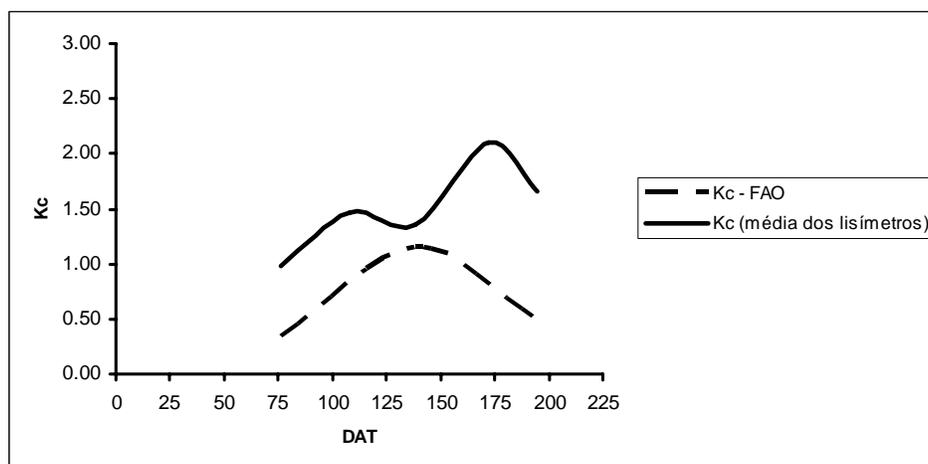


Figura 12 Comparativo entre o coeficiente de cultura (Kc) obtido da média entre os três lisímetros e o Kc sugerido por Allen et al. (1998)

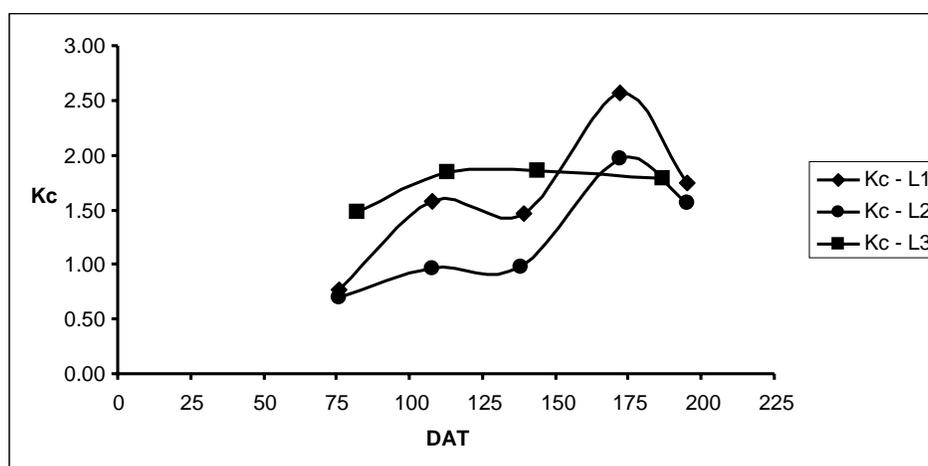


Figura 13 Comportamento das curvas do coeficiente de cultura (Kc) para os lisímetros 1, 2 e 3

Destaca-se que no presente trabalho foi utilizado o espaçamento adensado para determinação do K_c . A utilização do espaçamento 0,7 x 0,3 m para mamoneira não é convencionalmente utilizado em lavouras comerciais, esta proposição aqui realizada foi no sentido de tentar antecipar uma informação para os casos em que se pretende adaptar as lavouras de mamoneira para o plantio direto e a colheita mecanizada com as mesmas máquinas já utilizadas para o milho, por exemplo. Assim, conforme será discutido a seguir, o número de plantas em cada lisímetro influencia o consumo de água da mamoneira e conseqüentemente o K_c .

Na Figura 13, apresentam-se as curvas de coeficiente de cultura observadas individualmente em cada lisímetro. Fica destacado o comportamento diferenciado entre os mesmos, possivelmente em função do diâmetro de copa que no presente estudo não foi avaliado, número de plantas por lisímetro e/ou a diferenças presentes na estrutura do solo (proporção entre macro e microporos).

Na literatura atualmente disponível, foram encontrados poucos trabalhos envolvendo o cálculo do K_c para a mamoneira. Das referências obtidas, Andrade Júnior et al. (2008), trabalhando com a cultivar BRS – Nordestina, no espaçamento de 3 x 1 m, em monocultivo e consorciada com feijão, na cidade de Alvorada do Gurguéia (PI), utilizou o método do balanço de água no solo para medir a evapotranspiração da cultura (ET_c) e para medir o conteúdo de água no solo utilizou uma sonda de capacitância. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pela equação de Penman-Monteith-FAO. Os valores de K_c 's foram obtidos para períodos de cinco dias.

Os valores do K_c em cultivo solteiro são apresentados na tabela 4. Os valores observados no cultivo consorciado (0,4; 1,2 e 0,7 nas fases I, III e IV respectivamente) reforçam a idéia de quanto maior a porcentagem de cobertura do solo, maior a ET_c e conseqüentemente os valores de K_c .

Os valores de Kc observados neste estudo, bem como os apresentados por Allen et al. (1998), Andrade Júnior et al. (2008) e Rios (2009) estão todos apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Valores de coeficiente de cultura (Kc) da mamoneira nas diferentes fases obtidos no presente estudo e relatados na literatura

Fase	Presente estudo	1	2	3
I	0,98	0,35	0,25	0,27
III	2,11	1,15	0,75	0,87
IV	1,65	0,55	0,30	0,57

1 – Allen et al. (1998); 2 – Andrade Júnior et al. (2008); 3 – Rios (2009)

Os valores apresentados neste trabalho são relativamente altos mesmo quando comparado ao máximo encontrado por Curi e Campelo Júnior (apud ANDRADE JÚNIOR et al., 2008) que avaliando o híbrido Íris, material caracterizado pelo porte baixo, em Santo Antônio do Leverger (MT), observaram o Kc máximo de 1,37.

Na Figura 12, mostra-se uma comparação entre a média dos valores de Kc observados nos três lisímetros e os valores recomendados por Allen et al. (1998), ao longo do tempo.

A razão para tal diferença pode ser explicada pelo estudo de Posse et al. (2008), no qual cultivou duas plantas de mamoeiro em um único lisímetro de pesagem nas dimensões de 3 x 2 m com 1 m de profundidade. O transplântio foi feito no espaçamento de 3,6 m entre linhas e 1,8 m entre plantas. Como havia duas plantas no lisímetro, o valor médio semanal de ETc foi calculado conforme equação 7. E o Kc semanal pela equação 8.

$$ETc = \frac{V_{Lis}}{nS_{plântio}} \quad (7)$$

em que,

V_{Lis} – variação de volume médio semanal no lisímetro, L;

n – número de plantas instaladas no lisímetro;

$S_{plântio}$ – espaçamento de plantio da cultura.

$$Kc = \frac{ETc}{EToK_sK_L} \quad (8)$$

onde, K_L se destaca em função de estabelecer uma relação com porcentagem de área molhada ou sombreada que é dependente da taxa de crescimento do diâmetro de copa (DC) ao longo do ciclo da cultura. Com esse acompanhamento, os autores estabeleceram ajustes do Kc devido as variações do DC em relação ao espaçamento adotado.

No que se refere a consumo de água em função da densidade de plantio, Carvalho et al. (2006), apresentam as lâminas de água aplicadas em duas densidades de plantio de café, 2.500 e 10.000 plantas ha^{-1} , sendo que na observação de três anos seguidos (2001, 2002 e 2003) as lâminas aplicadas no plantio mais adensado (2 x 0,5 m) superaram as aplicadas no plantio dito de livre crescimento (4 x 1 m). A soma da lâmina total dos três anos correspondeu a 535,9 e 1.358,6 mm, para as densidades de 2.500 e 10.000 plantas ha^{-1} .

Dessa forma, acredita-se que no presente estudo, a adoção de uma metodologia visando minimizar e/ou ajustar o coeficiente de cultura em função do número de plantas presente nos lisímetros e dos valores de diâmetro de copa observado nas mesmas, tais valores poderiam ser mais baixos e próximos dos apresentados por Allen et al. (1998). Ainda considerando que segundo estes autores, a variação de Kc para qualquer cultura, em condições locais que é mais representativa, não deve diferir dos tabelados em mais de 0,2, o que não ocorreu neste experimento, onde ocorreram picos de até 2,57.

5 CONCLUSÕES

Mediante as condições meteorológicas observadas ao longo do período de realização deste estudo, considerando a cultivar utilizada e o espaçamento de plantio a evapotranspiração da mamoneira nas fases inicial, de crescimento, intermediária e final foram de 1,65; 3,07; 9,14 e 5,85 mm d⁻¹ respectivamente.

Os valores de coeficiente de cultura nas referidas condições experimentais foram de 0,98; 1,41; 2,11 e 1,65 para as fases; inicial, de crescimento, intermediária e final.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para manter o efetivo controle do volume (lâmina) de água a ser aplicado no lisímetro de drenagem, visando a garantia da ocorrência de um volume drenado, é necessário a utilização de um método de controle da umidade do solo que indique a umidade atual, a fim de que pela diferença observada em relação a umidade na capacidade de campo, se estabeleça o adequado volume de aplicação.

Ressalta-se que os valores de coeficiente de cultura apresentados neste trabalho se aplicam melhor aos interesses de irrigantes que utilizem a equação Penman-Monteith-FAO para estimação da evapotranspiração de referência (ET_o), uma vez que dentre as várias equações e métodos existentes para obtenção de ET_o, os valores observados variam muito em função dos elementos meteorológicos requisitados pela equação escolhida para cálculo. Isto pode levar a distorções em relação às reais lâminas de reposição requeridas pela cultura em determinado momento.

Para trabalhos futuros, sugere-se que desde o plantio da lavoura em campo, seja realizada a medição do diâmetro de copa e da altura das plantas alocadas nos lisímetros e que seja determinado o índice de área foliar (IAF) das mesmas, a fim de tornar possível relacionar essas características de crescimento e desenvolvimento da cultura, com a evapotranspiração da cultura (ET_c) e os valores de coeficiente de cultura (K_c) observados durante o experimento.

Destaca-se também a necessidade de determinar características fisiológicas da planta que torne possível relacionar as diferentes fases de seu desenvolvimento com as fases integrantes da curva de K_c.

A fim de se estabelecer um padrão de referência para o nível de compactação na reposição das diferentes camadas de solo dentro do lisímetro, sugere-se a utilização de um equipamento denominado penetrômetro.

Equipamento este que mede a resistência do solo à penetração de uma haste metálica, simulando a penetração de raízes ou ferramentas agrícolas.

Para o melhoramento do processo de manejo do lisímetro de drenagem, recomenda-se que a água coletada nos baldes seja utilizada nas irrigações posteriores, com o intuito de que os nutrientes, eventualmente lixiviados no perfil do solo dentro do lisímetro, sejam repostos, evitando que as plantas sofram alguma deficiência nutricional.

Acredita-se que o contato direto da manta sintética (Bidim), com o solo argiloso do local, somado ao movimento de partículas do solo junto com a água drenada, tenha causado o selamento parcial dos poros da manta, o que impediria a livre passagem da água para o tubo coletor. Fato este que também poderia explicar os valores de evapotranspiração e coeficiente de cultura da mamoneira observado no presente estudo. Assim, recomenda-se que em trabalhos futuros a utilização de manta sintética, seja observada com alguma reserva. Caso se opte por utilizá-la, recomenda-se que sobre a mesma seja colocada uma camada de areia como garantia para evitar o referido selamento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Produção de biodiesel**. Disponível em:
<<http://www.anp.gov.br/?pg=44826&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1300442980506>>. Acesso em: 16 jan. 2011.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage paper, 56).

ALLEN, R. G. et al. **The ASCE standardized reference evapotranspiration equation**. Reston: American Society of Civil Engineers, 2005.

AMARAL, J. G. C. **Mamona Al Guarany 2002**. Campinas: CATI, 2002. Disponível em:
< <http://www.cati.sp.gov.br/new/acervotecnico.php?ID=16> > . Acesso em: 19 abr. 2011.

AMORIM, M. C. **Avaliação da eficácia do lisímetro de lençol freático constante, do tanque classe “A” e do modelo de Penman-Monteith (FAO) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)**. 1998. 68 p.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

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

AVELAR, R. C. et al. **Produção de mudas de mamona (*Ricinus communis* L.) em tubetes de diferentes tamanhos.** Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congressso2006/agricultura/ProducaoMudas14.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2011.

BARROS JÚNIOR, 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. M. **Crescimento e desenvolvimento da mamoneira (*Ricinus communis* L.).** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 146).

BELTRÃO, N. E. M. et al. **O Cultivo sustentável da mamona no semi-árido Brasileiro.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 23 p. (Circular Técnica, 84).

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

BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G.; SANTOS, J. W. Algumas alterações metabólicas ocorridas na mamoneira (BRS 149 Nordestina) devido ao estresse hídrico por deficiência e excesso no ambiente edáfico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 10, n. 1/2, p. 977-984, 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 625 p.

BOSSIE, M.; TILAHUN, K.; HORDOFA, T. Crop coefficient and evapotranspiration of onion at Awash Melkassa, Central Rift Valley of Ethiopia. **Irrigation and Drainage Systems**, Enschede, v. 23, p. 1-10, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Mamona**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/index.html>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

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

BUENO, M. R. et al. Determinação do coeficiente de cultura para o capim tanzânia. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 5, p. 29-35, set./out. 2009.

CARVALHO, C. H. M. et al. Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e não irrigado em duas intensidades de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 243-250, mar./abr. 2006.

CARVALHO, D. F. et al. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 363-372, maio/ago. 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas relativas às safras 1976/1977 a 2009/2010 de área plantada, produtividade e produção**. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcms_conteudos>. Acesso em: 17 fev. 2011.

COSTA, F. X. et al. Composição química da torta de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, ENERGIA E SUSTENTABILIDADE, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DIAS, J. A. A. **Consumo de água no girassol cultivado em evapotranspirômetro de lençol freático constante**. 1995. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

DOURADO NETO, D.; VAN LIER, Q. J.; BOTREL, T. A. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando modelo Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 1, p. 92-102, jul. 1990.

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

FAN, Y.; WAN-JUN, Z. Estimation of evapotranspiration with drainage lysimeters in the Taihang Mountain area, China. **Forestry Studies in China**, Beijing, v. 11, n. 4, p. 219-224, 2009.

FIGUEIREDO, W. S. C. **Evapotranspiração e efeito do déficit hídrico na floração do cafeeiro arábica**. 2010. 108 p. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Production: crops**. Rome, 2011. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 28 fev. 2011.

GONÇALVES, N. P. et al. Introdução e avaliação de cultivares de mamoneira no semi-árido mineiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5., 2008, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2008. 1 CD-ROM.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1989. 332 p. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, 70).

JOLY, A. B. **Botânica**: introdução à taxonomia vegetal. 13. ed. São Paulo: Nacional, 2002. 777 p.

KHAN, L. P.; GIL, J. A.; COSTA, R. Diseño y funcionamiento de un lisímetro hidráulico para medición de la evapotranspiración potencial. **Bioagro**, Barquisimeto, v. 10, n. 1, p. 11-17, 1998.

KLAR, A. E.; FONTES, E. W. S. Water use by broccoli plants (*Brassica oleracea* F, var. Italica). **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 1, p. 37-43, Jan./Apr. 2003.

KLOCKE, N. L. et al. Design, installation, and performance of percolation lysimeters for water quality sampling. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 36, n. 2, p. 429-435, Mar./Apr. 1993.

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

LARA, A. C. C. et al. Desempenho de genótipos de mamona (*Ricinus communis* L.) para colheita mecanizada no estado de São Paulo na safrinha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 6., 2009, Montes Claros. **Anais...** Lavras: UFLA, 2009. 1 CD-ROM.

LIMA, E. P. **Graus-dia, temperatura base e coeficientes de cultura para cafeeiros arábica em fase de implantação**. 2006. 116 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MATERÁN, F. J. V. et al. Minilímetro com lençol freático constante operando com Irrigâmetro® para medida da evapotranspiração de referência. **Revista UDO Agrícola**, Sucre, n. 1, p. 243-258, 2009.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE.** 2002. 103 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

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 Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 513-519, 2004.

MEDEIROS, P. V. **Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empírico-teóricas com base na equação de Penman-Monteith.** 2008. 241 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2008.

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

MOREIRA, L. G. et al. Efeitos de diferentes lâminas de irrigação na produtividade da mamoneira variedade IAC Guarani. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 4, p. 449-455, out./dez. 2009.

MORO, E. **Manejo da adubação nitrogenada em híbridos de mamona de porte baixo cultivados na safra e na safrinha em sistema plantio direto.** 2008. 118 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 2008.

OLIVEIRA, O. J. **Coefficiente de cultura (Kc) para o milho pipoca:** grupo everta (*Zea mays* L. cv. CMS-43 EMBRAPA). 1995. 87 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

PARRELLA, N. N. L. D. **Caracterização genética e da qualidade de sementes de mamona.** 2009. 86 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

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

PIRES, M. M. et al. Biodiesel de mamona: uma avaliação econômica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

POSSE, R. P. et al. Evapotranspiração e coeficiente da cultura do mamoeiro. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 681-690, out./dez. 2008.

RAMOS, N. P. et al. Semeadura do híbrido Lyra de mamona (*Ricinus communis* L.) sob plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 481-486, mar./abr. 2008.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera:** conceitos, processos e aplicações. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

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.

RODRIGUES, R. F. O.; OLIVEIRA, F.; 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.

SANDANIELO, A.; LUNARDI, D. M. C. Coeficientes de cultura da chicória (*Cichorium endívia* L.). **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 2, p. 76-80, 2002.

SANTOS, F. X. et al. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 115-124, jan./mar. 2008.

SANTOS, F. X.; MONTENEGRO, A. A. A. Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 3, p. 304-310, jul./set. 2009.

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

SCHLICK, G. D. S. et al. Crescimento inicial do cultivar de mamona FCA-PB em dois espaçamentos e diferentes populações de plantas na safrinha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 6., 2009, Montes Claros. **Anais...** Lavras: UFLA, 2009a. 1 CD-ROM.

SCHLICK, G. D. S. et al. Espaçamento entre fileiras e população de plantas para a cultivar de mamona FCA-PB na safrinha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 6., 2009, Montes Claros. **Anais...** Lavras: UFLA, 2009b. 1 CD-ROM.

SILVA, L. C.; RAO, T. V. R. Avaliação de métodos para estimativa de coeficientes da cultura de amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 128-131, 2006.

SILVA, L. D. B. **Evapotranspiração do capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem.** 2003. 93 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

SILVA, S. M. S. et al. Produtividade da cultivar BRS Energia em função da lâmina de irrigação e populações de plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA MAMONA, 3., 2008, Salvador. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 1 CD-ROM.

SOUZA, L. A. **Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade de sementes de mamona.** 2007. 53 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SOUZA, A. S. et al. Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. I – componentes de produção. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 4, p. 414-421, out./dez. 2007a.

SOUZA, A. S. et al. Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira II – crescimento e produtividade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 4, p. 422-429, out./dez. 2007b.

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

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, Sept./Oct. 1980.

VIEIRA, L. **Meteorologia e climatologia agrícola.** Cidade Gaúcha: Universidade Estadual de Maringá, 2009. 133 p. (Notas de Aula).