

Evapotranspiração e Coeficiente de Cultivo na Fase Produtiva da Palma de Óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), nas Condições de Clima Tropical Savana



ISSN 1676-918X
ISSN online 2176-509X
Julho, 2015

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 325**

Evapotranspiração e Coeficiente de Cultivo na Fase Produtiva da Palma de Óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) nas Condições de Clima Tropical de Savana

*Jorge Cesar dos Anjos Antonini
Rui Fonseca Veloso
Juaci Vitória Malaquias*

Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2015

Exemplar desta publicação disponível gratuitamente no link:
http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/versaomodelo/html/2015/bolpd/bold_325.shtml

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970 Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
<http://www.cpac.embrapa.br>
sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Claudio Takao Karia*
Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*
Secretárias: *Maria Edilva Nogueira*
Alessandra S. Gelape Faleiro

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbues*
Normalização bibliográfica: *Rejane Maria de Oliveira*
Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*
Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*
Foto da capa:
Impressão e acabamento: *Alexandre Moreira Veloso*
Divino Batista de Souza

1ª edição

1ª impressão (2015): tiragem 100 exemplares
Edição online (2015)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Cerrados

A635e Antonini, Jorge Cesar dos Anjos.

Evapotranspiração e coeficiente de cultivo na fase produtiva da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), nas condições de clima tropical de savana / Jorge Cesar dos Anjos Antonini, Rui Fonseca Veloso, Juaci Vitória Malaquias. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2015.

21 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X ; 325).

1. Dendê. 2. Evapotranspiração. 3. Irrigação suplementar.
I. Veloso, Rui Fonseca. II. Malaquias, Juaci Vitória. III Série. IV. Embrapa Cerrados.

633.851 - CDD 21

© Embrapa 2015

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	10
Resultados	16
Referências	19

Evapotranspiração e Coeficiente de Cultivo na Fase Produtiva da Palma de Óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), nas Condições de Clima Tropical de Savana

Jorge Cesar dos Anjos Antonini

Rui Fonseca Veloso

Juaci Vitória Malaquias

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estimar a evapotranspiração e o coeficiente de cultivo da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), cultivada com irrigação suplementar, nas condições de clima tropical de savana.

O experimento foi desenvolvido no Distrito Federal (Latitude: 15° 35' 30" S; Longitude: 47° 42' 30" W; Altitude: 1030 metros), no período de 6/5/2013 a 15/9/2013. A evapotranspiração da cultura foi estimada pelo balanço de água no solo. A umidade foi monitorada entre as irrigações, utilizando-se o método gravimétrico, com amostragens de solo nas profundidades de 5 cm, 10 cm, 30 cm, 50 cm e 70 cm. A evapotranspiração de referência foi estimada pela equação de Penman-Monteith a partir dos dados observados na estação meteorológica, localizada próxima à área experimental. Os resultados obtidos indicaram que a evapotranspiração média da palma de óleo, no período de irrigação, que se estende de abril a setembro, foi de 4,1 mm dia⁻¹ e 5,7 mm dia⁻¹, nos meses de baixa e alta demanda, respectivamente, e o coeficiente de cultivo médio do período, igual a 1,1.

Termos para indexação: dendê, evapotranspiração, irrigação suplementar.

¹ Engenheiro-agrícola, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Rural Systems and Resource Management, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

³ Estatístico, mestre em Ciência de Materiais em Modelagem e Simulação Computacional, analista da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Evapotranspiration and crop coefficient in the production phase of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.), in conditions of tropical climate of savana

Abstract

*The objective of this study was to estimate evapotranspiration and crop coefficient of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.), Grown with supplemental irrigation in conditions of savanna tropical climate. The experiment was conducted in the Federal District (Latitude: 15 ° 35 '30" S; Longitude: 47 ° 42' 30" W; Altitude: 1030 meters) in the period from 06.05.2013 to 09.15.2013. The crop evapotranspiration was estimated by the water balance in the soil. The humidity was monitored between irrigations, using the gravimetric method, using soil samples at depths of 5 cm, 10 cm, 30 cm, 50 cm and 70 cm. The reference evapotranspiration was estimated by the Penman-Monteith from the data observed at the weather station, located near the experimental area. The results indicated that average evapotranspiration of oil palm in the irrigation season, which extends from April to September was 4.1 mm day⁻¹ and 5.7 mm day⁻¹ in the period low and high demand respectively, and average crop coefficient equal to 1.1.*

Index terms: evapotranspiration, supplemental irrigation, water balance in the soil.

Introdução

Nas últimas décadas, a demanda por óleos vegetais tem crescido significativamente motivada tanto pela mudança nos hábitos alimentares da população como pelo expressivo aumento populacional em países em desenvolvimento, como Índia, China e Brasil. A substituição do uso de combustíveis fósseis por fontes alternativas da biomassa também impulsionou a expansão da indústria de óleos vegetais, em virtude do uso destes na produção de biodiesel (BASIRON, 2012; TAN et al., 2009).

Entre as plantas oleaginosas cultivadas, a palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) destaca-se pela alta produção de óleo por unidade de área cultivada, elevado balanço energético e alta capacidade de redução de gases de efeito estufa (GEE) (KALTNER et al., 2005). Atualmente, existe uma cadeia agroindustrial de palma de óleo em pleno desenvolvimento no Brasil (MONTEIRO; HOMMA, 2014), porém, existe limitação à disseminação da cultura no território brasileiro em função, principalmente, do seu requerimento hídrico, restringindo o seu cultivo às áreas da Amazônia equatorial e Sudeste da Bahia (BASTOS et al., 2008).

Os dois principais produtos da palma de óleo são o óleo de palma, extraído do mesocarpo ou polpa e o óleo de palmiste, extraído do endosperma ou amêndoa do fruto, com taxas de extração industrial em torno de 21% e 1,5% do peso de cacho de fruto fresco, respectivamente (KALTNER; FURLAN JÚNIOR, 2000).

A participação do Brasil no mercado internacional de óleo extraído da palma de óleo é de apenas 0,6%. A demanda interna desse produto, em 2010, foi da ordem de 387 mil toneladas de óleo de palma e 193 mil toneladas de óleo de palmiste. No entanto, o país produziu, em 2010, cerca de 249 mil toneladas e 17 mil toneladas, respectivamente. Isso gerou uma significativa taxa de importação (BRASIL, 2012; HOMMA, 2010; HOMMA; VIEIRA, 2012).

A palma de óleo é uma cultura perene com produção contínua ao longo do ano, absorvendo e fixando, de forma intensiva e permanente, a mão de obra no campo, principalmente, a partir do terceiro ano de plantio, quando inicia sua produção. Tem vida útil econômica superior a 25 anos. É a oleaginosa cultivada de maior produção mundial e produtividade com rendimentos médios em torno de 25 t ha⁻¹ ano⁻¹ de cachos de frutos frescos, o que equivale a 4 t ha⁻¹ ano⁻¹ a 6 t ha⁻¹ ano⁻¹ de óleo. O seu cultivo pode ser uma importante alternativa para o desenvolvimento regional, por seu potencial na geração de emprego, renda, diversificação da produção, substituição de importação e produção de energia renovável (BECKER, 2010; ROCHA, 2007).

Essa cultura cresce e se desenvolve em vários tipos de solos, desde que sejam profundos e bem drenados (DURÁN; ORTIZ, 1995; MACEDO; RODRIGUES, 2000). É essencialmente cultivada em áreas tropicais úmidas, no entanto, em experimento realizado em área de clima tropical de savana, com irrigação suplementar, a produtividade foi superior à média obtida nos locais de cultivo tradicional do Brasil (ANTONINI et al., 2013).

Para o manejo racional da irrigação, a evapotranspiração da cultura (ET_c) é uma das principais informações necessárias para o planejamento do uso da água. Segundo Mendonça et al. (2007), entre os procedimentos disponíveis para a estimativa do requerimento de água pelas plantas, destaca-se o uso do coeficiente de cultura (K_c), associado à estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). A metodologia de utilização do K_c com os procedimentos de cálculos, tem sido apresentada e recomendada pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (ALLEN et al., 1998; DOORENBOS; KASSAM, 1979; DOORENBOS; PRUITT, 1977).

São poucas as informações a respeito do requerimento de água da palma de óleo, tanto no Brasil como no mundo. Veiga et al. (2001), ao desenvolverem estudos com palma de óleo irrigada, no Município de Acará, Estado do Pará, relatam que a irrigação provocou efeito positivo

na produtividade da cultura, aumentando o peso médio e número de cachos de frutos frescos por planta, produzidos anualmente, em 7% e 11%, respectivamente, além de proporcionar uniformidade da produção durante o ano. Observaram ainda que o requerimento de água de irrigação suplementar foi de 488,00 mm, 690,00 mm e 540,00 mm nos anos de 1997, 1998 e 1999, respectivamente. Trabalhos de pesquisas realizados em outros países determinaram alguns parâmetros para a irrigação. Nelson et al. (2006) relatam que o coeficiente de cultura (Kc) da palma de óleo na fase de produção varia de 0,9 a 1,0. Henson et al. (2005), em estudos realizados com plantas jovens de palma de óleo, em Kedah, Malásia, observaram que o valor de Kc variou de 0,15 a 1,0 quando estimado na estação seca e úmida, respectivamente. Henson e Harun (2007) acompanharam o desenvolvimento de uma cultura de palma de óleo, com 5 anos de idade após o plantio definitivo em Kedah, Malásia. Monitoraram, mensalmente, as trocas gasosas e a evapotranspiração da cultura, durante e após um período seco, interrompido por uma chuva de 40 milímetros. Os autores observaram que o impacto das condições de seca nas trocas gasosas e crescimento da planta foi atenuado pela chuva. Observaram, ainda, que a ETc no período de seca, variou entre 3,9 mm dia⁻¹ e 2,7 mm dia⁻¹, enquanto os valores de Kc variaram entre 0,85 e 0,50.

Considerando que a água de qualidade para consumo de irrigação é um recurso finito e que a irrigação é a principal atividade humana utilizadora de água, concluímos que seu uso deverá ser feito de maneira racional, a fim de evitar desperdícios, contaminação de mananciais, aumento dos custos com energia e conflitos entre os setores industrial, urbano e agrícola. Para o adequado manejo da irrigação da palma de óleo, torna-se necessário o conhecimento da sua capacidade de evapotranspiração em relação à demanda local. Uma das abordagens disponíveis, para a estimativa da ETc, destaca-se o uso do Kc associado à estimativa da ETo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estimar a ETc e o Kc da palma de óleo na fase produtiva, cultivada nas condições de clima tropical de savana.

Material e Métodos

A área experimental pertence ao Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, localizado na cidade de Planaltina, Distrito Federal (Latitude: 15° 35' 30" S; Longitude: 47° 42' 30" W; Altitude: 1030 metros). Segundo classificação climática de Köppen (SILVA et al., 2014), o clima da área é do tipo tropical Aw, caracterizado pela ocorrência de temperaturas médias superiores a 18 °C no mês mais frio. A precipitação média anual é de 1.394 milímetros, sendo 87% distribuída entre os meses de outubro a março e 13% distribuída no período de maio a setembro. As características climáticas do ano em que foi desenvolvido o estudo encontram-se relatadas na Tabela 1. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo Endopetroplíntico de textura argilosa, profundo e bem drenado (SANTOS et al., 2013), tendo as principais características físicas relatadas na Tabela 2.

Tabela 1. Médias mensais da temperatura do ar máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed), da umidade relativa do ar (UR), da velocidade do vento (U), da insolação (Ins), da radiação solar global (Rad), da chuva (Pp) e da Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith (ETo-PM), observadas na estação meteorológica, instalada próxima à área experimental, referente ao período de maio a setembro de 2013.

Evento	Unidade	Meses									
		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro	
		Med ⁽¹⁾	DP ⁽²⁾	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP
Tmax	(°C)	28,1	1,7	27,0	1,7	27,7	1,9	28,8	1,2	29,9	2,5
Tmin	(°C)	15,5	1,9	15,2	1,9	13,1	1,7	14,1	2,8	16,7	1,6
Tmed	(°C)	21,1	0,9	20,5	0,9	20,1	1,2	21,4	1,3	22,8	2,0
UR	(%)	66,7	6,9	70,3	9,1	59,1	8,0	47,7	4,5	54,6	11,5
U	(m s ⁻¹)	1,9	0,4	1,9	0,5	2,1	0,5	2,3	0,6	2,5	0,6
Ins	(h)	9,1	2,4	7,8	2,5	9,4	1,2	9,7	1,1	7,7	2,9
Rad	(MJ m ⁻²)	18,6	3,5	16,2	3,3	18,3	2,7	20,7	2,8	19,9	4,5
Pp	(mm)	0,6	3,1	1,7	8,2	0,0	0,0	0,1	0,2	1,9	6,0
ETo-PM	(mm dia ⁻¹)	3,8	0,6	3,2	0,6	3,8	0,5	4,8	0,6	5,0	0,9

⁽¹⁾ Média mensal; ⁽²⁾ Desvio padrão.

Tabela 2. Características físicas do solo da área experimental.

Camada (cm)	Argila(%).....	Silte	Areia grossa	Areia fina	Densidade aparente (g cm ⁻³)
0 – 20	43	19	4	34	1,102
20 – 40	43	19	3	35	1,095
40 – 60	44	16	3	37	1,075
60 – 80	45	15	3	37	1,035

O estudo foi realizado numa área de 2,2 ha, plantada em março de 2006, com as cultivares BRS 2501, BRS 2528, BRS 1001 e BRS 2301, no espaçamento de 9,0 m entre plantas e 7,8 m entre linhas, com as plantas distribuídas em triângulo equilátero de 9,0 m de lado. Em uma linha, no interior da lavoura, foram escolhidas, ao acaso, três plantas do cultivares BRS 2501 para o monitoramento do requerimento de água.

Utilizou-se o sistema de irrigação localizado por microaspersão, com dois aspersores, instalados na linha de plantio em cada lado da planta, a 1,5 m do centro do caule, com vazão e raio de alcance de 82 L h⁻¹ e 2,5 m, respetivamente. A área molhada pelos aspersores foi de 30 m², ou seja, 43% da área total ocupada por planta.

O manejo de irrigação baseou-se no monitoramento do potencial matricial da água no solo, utilizando-se tensiômetros de mercúrio, instalados a 10 cm, 30 cm, 50 cm e 70 cm de profundidade. O momento de irrigação foi determinado quando os potenciais matriciais atingiram valores correspondentes ao esgotamento de 30% da água total disponível do solo até a profundidade de 40 cm. A lâmina de água aplicada em cada evento de irrigação foi a necessária para elevar umidade do solo, até a profundidade de 50 cm, à capacidade de campo, acrescida de 10%, em vista da eficiência do sistema de irrigação ser de 90%. Os potenciais matriciais (ψ_m), em kPa, foram obtidos a partir das leituras nos tensiômetros, utilizando-se a equação:

$$\psi_m = (-12,6h + h_1 + h_2) \times 0,098 \quad (1)$$

em que: h é a leitura da elevação da coluna de mercúrio em relação a superfície livre do mercúrio na cuba, em cm; h_1 a altura entre o nível da superfície livre do mercúrio na cuba e a superfície do solo, em cm; h_2 a profundidade de instalação do tensiômetro, em cm.

Os valores de umidade atual (θ), correspondentes às profundidades de 10 cm e 30 cm, utilizados para calcular a porcentagem de esgotamento da água total disponível (ATD) na camada de 0 cm a 40 cm, foram estimados pela curva de retenção de água do solo, descrita pelo modelo de Van Genuchten (1980), conforme Equação 2. Os parâmetros da equação, para cada camada de solo, constantes na Tabela 3, foram determinados em laboratório com amostras de solo indeformadas.

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \times \left(\frac{1}{1 + (\alpha \Psi_m)^n} \right)^m \quad (2)$$

em que: θ_s e θ_r são, respectivamente, a umidade de saturação e residual expressas em g g^{-1} ; θ , n e m constantes empíricas obtidas a partir do ajuste da curva de retenção da água no solo.

Tabela 3. Valor dos parâmetros da equação de van Genutchen e da capacidade de campo (θ_{cc}) determinada pelo método do perfil instantâneo.

Camada (cm)	θ_s (g g^{-1})	θ_r (g g^{-1})	n (ad)	α (k Pa^{-1})	m (ad)	θ_{cc} (g g^{-1})
0 – 20	0,51	0,21	1,543	0,555	0,352	0,29
20 – 40	0,48	0,22	1,549	0,605	0,355	0,28
40 – 60	0,50	0,22	1,837	0,403	0,456	0,28
60 – 80	0,51	0,21	1,820	0,357	0,451	0,28

A ETc da cultura foi determinada a partir do balanço hídrico, que tem seu fundamento na lei de conservação de massa. O cálculo foi feito utilizando-se a equação simplificada (REICHARDT; TIMM, 2004):

$$ETc = P + I \pm Q \pm \Delta A \quad (3)$$

em que: P é a precipitação pluvial, em mm; I é a lâmina de irrigação, em mm; Q é a saída (drenagem) ou entrada de água (ascensão capilar) na camada de solo em estudo, em mm; e ΔA é a variação no armazenamento de água no perfil do solo, em mm.

O volume de controle considerado para elaboração do balanço hídrico correspondeu à camada compreendida entre a superfície do solo e a máxima profundidade efetiva do sistema radicular, aqui considerada como 50 cm. O balanço hídrico foi processado nos períodos compreendidos entre as irrigações e na ausência de chuva. Portanto a equação de balanço hídrico do solo ficou resumida na equação:

$$ETc = \pm \Delta A \pm Q \quad (4)$$

Os valores de umidades atuais do solo em função da profundidade ($\theta(Z)$), utilizados para a estimativa do armazenamento da água no perfil do solo, foram obtidos por meio de amostragem de solo entre as irrigações, nas profundidades de 5 cm, 10 cm, 30 cm, 50 cm e 70 cm. O armazenamento inicial ($h_{z(\text{inicial})}$) foi determinado em torno de 17 horas após a irrigação e o final ($h_{z(\text{final})}$), imediatamente, antes da irrigação seguinte. O teor de umidade de cada profundidade foi determinado pelo método gravimétrico e a umidade da superfície do solo foi assumida como igual ao valor obtido na profundidade de 5 cm. A armazenagem de água foi estimada pela regra do trapézio (LIBARDI, 2005), segundo a equação:

$$h_z = [0,5 \times \theta(Z_0) + 0,5 \times \theta(Z_{10}) + \theta(Z_{30}) + 0,5 \times \theta(Z_{50})] \times \Delta Z \quad (5)$$

em que: h_z é a armazenagem de água, em mm, na camada de 0 cm a 50 cm; $\theta(Z_0)$, $\theta(Z_{10})$, $\theta(Z_{30})$ e $\theta(Z_{50})$ representam o conteúdo de água volumétrico nas profundidades 0 cm, 10 cm, 30 cm e 50 cm, respectivamente, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; ΔZ é a distância vertical entre os pontos de medida de θ , estabelecida em 20 cm, com exceção da distância da superfície do solo ao primeiro ponto (Z_{10}) que foi de 10 cm.

A variação do armazenamento de água entre as irrigações (Δh_z) foi determinada a partir da diferença entre as lâminas de água armazenadas

no perfil de controle após uma irrigação e imediatamente antes da irrigação seguinte, segundo a equação:

$$\Delta h_z = h_{z(\text{inicial})} - h_{z(\text{final})} \quad (6)$$

As perdas e (ou) os ganhos de água através da base do perfil de controle, drenagem interna (D) ou ascensão capilar (AC), respectivamente, foram estimadas com base na equação:

$$Q = q \times \Delta t \quad (7)$$

em que: Δt é o intervalo de tempo entre as medições do armazenamento de água no perfil de controle em dia; e q é a densidade de fluxo da água no solo em mm dia^{-1} , determinada segundo a equação de Darcy-Buckingham:

$$q = -K(\theta) \times \Delta \Psi_t \quad (8)$$

em que: $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo (mm dia^{-1}); $\Delta \Psi_t$ é o gradiente de potencial total na direção vertical (cm cm^{-1}). Considera-se ascensão capilar quando o valor de q é positivo, e drenagem quando o valor for negativo.

Os potenciais matriciais, correspondentes às profundidades de 30 cm e 70 cm, utilizados para a estimativa do fluxo de água, na base inferior do volume de controle, foram medidos diretamente pelos tensiômetros instalados nessas profundidades. O gradiente de potencial total foi calculado a partir dos potenciais totais obtidos nas profundidades de 30 cm e 70 cm no perfil do solo e o potencial total da água no solo (Ψ_t) foi obtido pela equação:

$$\Psi_t = \Psi_m + \Psi_g \quad (9)$$

em que: Ψ_g potencial gravitacional ($\text{cm H}_2\text{O}$); Ψ_m potencial matricial ($\text{cm H}_2\text{O}$).

A condutividade hidráulica do solo não saturada $K(\theta)$ foi determinada de acordo com a equação (VAN GENUCHTEN, 1980):

$$K(\theta) = K_0 \times S_e^b \times \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (10)$$

em que: K_0 é a condutividade hidráulica do solo saturado, obtida em laboratório com o uso do permeâmetro de carga constante; b é o parâmetro empírico que, segundo Mualem (1976), é igual a 0,5 para a maioria dos solos; S_e é a saturação efetiva dada por:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (11)$$

A estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) foi determinada por meio dos dados obtidos na estação meteorológica da Embrapa Cerrados, localizada próximo à área experimental, utilizando-se a equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (12)$$

em que: R_n e G são, respectivamente, o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; Δ é a declinação da curva de saturação do vapor da água em $\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; U_2 é a velocidade do vento (média diária) a 2 m acima da superfície do solo, em m s^{-1} ; e_s é a pressão de saturação do vapor em kPa; e_a a pressão real do vapor, em kPa; e, γ é o fator psicrométrico em MJ kg^{-1} .

O K_c foi determinado para cada intervalo entre os eventos de irrigações, com base na seguinte relação (DOORENBOS; KASSAM, 1979):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (13)$$

Resultados

Na Figura 1, estão representadas as curvas médias, determinadas ao longo do período de estudo, relativas à variação do conteúdo de umidade do solo em função da profundidade e do tempo transcorrido entre duas irrigações, ou seja, logo após a irrigação (umidade inicial) e antes da irrigação seguinte (umidade final). Observa-se que as maiores mudanças no conteúdo de umidade do solo são produzidas nas primeiras profundidades. Isso indica que a maior densidade de raízes, com habilidade de absorção de água e nutrientes, encontra-se nessas camadas. Observa-se ainda que, aproximadamente, 92% da água é extraída nos primeiros 50 cm do perfil de solo, o que sugere a adotar essa profundidade como limite de controle da aplicação de água de irrigação.

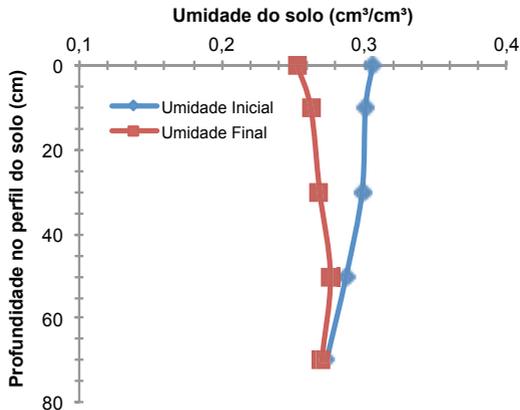


Figura 1. Variação média dos conteúdos de água do solo, em função da profundidade determinados logo após (umidade inicial) e imediatamente antes da irrigação seguinte (umidade final), durante o período de irrigação de maio a setembro de 2013.

Observa-se, na Tabela 1, que houve pouca contribuição de chuva no período experimental, sendo o requerimento de água da cultura praticamente atendido pela irrigação. Observa-se, ainda, que a demanda de evapotranspiração, ao longo do período experimental, apresentou níveis diferenciados, ocorrendo os menores valores nos meses de maio,

junho e julho (média de 3,6 mm dia⁻¹) e os maiores, nos meses de agosto e setembro (média de 4,9 mm dia⁻¹).

Os parâmetros medidos no balanço de água do solo estão listados na Tabela 4. Observa-se que os valores de variação do armazenamento de água no perfil do solo até a profundidade de 50 cm diferem entre os períodos de monitoramento. Essa diferença foi observada, ainda, na ascensão capilar. Uma das causas dessas variações são as condições climáticas, que mudam ao longo do tempo, provocando mudanças na evapotranspiração da cultura e a outra está relacionada à densidade de raízes do local de amostragem, visto que as amostragens de cada período de monitoramentos não podem ser feitas exatamente no mesmo ponto e sim nas proximidades da realizada no período anterior.

Observa-se, ainda, na Tabela 4, que a evapotranspiração da cultura, ao longo da estação de irrigação, variou em função da demanda. Nos meses de baixa demanda, a ETc média foi de 4,1 mm dia⁻¹ e, nos meses de alta demanda, o valor médio aumentou para 5,7 mm dia⁻¹, enquanto a ETo foi de 3,7 mm dia⁻¹ e 5,0 mm dia⁻¹, respectivamente. Resultado semelhante foi encontrado por Foong (1993), utilizando um lisímetro de drenagem, num período de 15 anos (1976-1990) na península da Malásia. Durante os primeiros 7 anos de desenvolvimento da cultura a evapotranspiração média anual encontrada variou de 4,5 mm dia⁻¹ a 5,0 mm dia⁻¹ e, nos anos posteriores, de 5,0 mm dia⁻¹ a 5,5 mm dia⁻¹. Carr (2011), em trabalho de revisão, constatou que, no período de chuva de vários locais da Malásia e da África Ocidental, a evapotranspiração da cultura variou de 4,0 mm dia⁻¹ a 5,0 mm dia⁻¹, enquanto a evapotranspiração de referência foi, em média, de 5,0 mm dia⁻¹.

O valor médio de Kc igual 1,1, observado neste estudo (Tabela 4) na fase de produção da palma de óleo, assemelha-se ao reportado por Allen et al. (1998), que recomendam para palmeiras, em geral, nessa fase, um valor médio de Kc igual a 1,0. Esse valor também está próximo do valor de Kc de 0,9 a 1,0, encontrado por Nelson et al. (2006) em cultivos de palma de óleo em produção.

Tabela 4. Balanço de água no solo, na camada de 0 cm a 50 cm, realizado em lavoura experimental de palma de óleo (cultivar BRS 2501), nos meses de maio a setembro de 2013, com 7 anos de idade após o plantio definitivo e os respectivos valores de evapotranspiração e coeficiente de cultivo, determinados nas condições edafoclimáticas da região do Distrito Federal.

Meses	Intervalo entre irrigações	$\Delta t^{(1)}$ (dia)	$\Delta A^{(2)}$ (mm)	$Q^{(3)}$ (mm)	$ET_o^{(4)}$	$ET_c^{(5)}$		$K_c^{(6)}$	
					Média ⁽⁷⁾ (mm dia ⁻¹)	Média ⁽⁷⁾ (mm dia ⁻¹)	D P ⁽⁸⁾ (mm dia ⁻¹)	Média (ad)	DP ⁽⁸⁾ (ad)
Mai Jun Jul	6/05 - 10/05	4,0	16,7	1,6	4,1	4,6	1,0	1,1	0,2
	12/05 - 16/05	4,0	13,5	0,3	4,1	3,5	0,5	0,9	0,1
	17/05 - 21/05	4,0	17,4	1,5	3,6	4,7	1,8	1,3	0,6
	22/05 - 27/05	5,0	21,8	0,1	3,5	4,7	2,0	1,4	0,5
	13/06 - 17/06	4,0	13,2	0,2	3,3	3,1	0,3	0,9	0,1
	02/07 - 04/07	2,0	10,1	0,5	3,6	4,3	0,9	1,2	0,3
	07/07 - 10/07	3,0	9,6	0,1	3,9	3,8	0,1	1,0	0,2
	Média ⁽⁹⁾	3,7	14,6	0,6	3,7	4,1	1,0	1,1	0,3
Ago Set	13/08 - 16/08	3,0	15,8	1,4	4,5	5,7	0,5	1,3	0,1
	17/08 - 20/08	3,0	17,0	2,7	4,9	6,6	0,2	1,3	0,2
	21/08 - 24/08	3,0	16,1	0,3	5,2	5,5	0,5	1,1	0,1
	25/08 - 29/08	4,0	22,7	0,1	5,7	6,3	0,5	1,1	0,2
	30/08 - 01/09	2,0	10,5	0,2	4,8	4,5	0,8	1,0	0,4
	05/09 - 09/09	4,0	9,6	0,2	4,6	4,9	0,3	1,1	0,1
	10/09 - 15/09	5,0	27,2	2,1	5,3	6,4	0,1	1,2	0,2
	Média ⁽⁹⁾	3,4	17,0	1,0	5,0	5,7	0,4	1,1	0,2

⁽¹⁾ Intervalo de monitoramento da armazenagem de água no perfil do solo; ⁽²⁾ Variação do armazenamento; ⁽³⁾ Entrada (+) ou saída (-) de água no perfil de controle; ⁽⁴⁾ Evapotranspiração de referência; ⁽⁵⁾ Evapotranspiração da cultura; ⁽⁶⁾ Coeficiente de cultura; ⁽⁷⁾ Média no intervalo entre irrigações; ⁽⁸⁾ Desvio Padrão; ⁽⁹⁾ Média do período.

Conclusão

Os resultados indicam que evapotranspiração média da palma de óleo, no período de irrigação, que se estende de abril a setembro, nas condições edafoclimáticas do Distrito Federal, variou de 4,1 mm dia⁻¹ a 5,7 mm dia⁻¹ nos meses de baixa e alta demanda evapotranspiométrica, respectivamente, enquanto o coeficiente de cultivo médio foi igual a 1,1.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ANTONINI, J. C. A.; JUNQUEIRA, N. T. V.; MALAQUIAS, J. V.; VELOSO, R. F.; SANZONOWICZ, C.; SUESS, R. C.; GOMES, J. G. Consumo de água de irrigação e produtividade da palma de óleo cultivada nas condições edafoclimáticas de savana tropical. In: WORKSHOP AGROENERGIA: MATÉRIAS PRIMAS, 7., 2013, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: APTA, 2013. 1 CD-ROM.

BASIRON, Y. **Malaysian palm oil: assuring sustainable supply of oils e fats into the future**. Disponível em: <http://www.mpoc.org.my/upload/Tan_Sri_Yusof_POTS_PHP.pdf>. Acesso em: 20 out. 2012.

BASTOS, T. X.; MÜLLER, A. A.; RAMALHO FILHO, A.; PACHÊCO, N. A.; GONÇALVES, A. O.; MONTEIRO, D. C. A. **Zoneamento agroclimático e de riscos climáticos para o cultivo do dendezeiro no Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 26 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 319).

BECKER, B. K. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê)? **Confins**: Revista Franco Brasileira de Geografia, São Paulo, n. 10, 2010. Disponível em: <<http://confins.revues.org/6609>>. Acesso em: 18 jan. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília, DF, 2012. 223 p.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of oil palm (*Elaeis guineenses*): a review. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, n. 4, p. 639-652, Oct. 2011.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 212 p. (Estudio FAO. Riego y drenaje, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Crop water requirement**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 24).

DURÁN, N.; ORTIZ, R. A. Efecto de algunas propiedades físicas del suelo y la precipitación sobre la producción de la palma aceitera (*Elaeis guineenses*) en Centroamerica. **Agromía Mesoamericana**, Alajuela, v. 6, p. 7-14, 1995.

FOONG, S. F. Potential evapotranspiration, potential yield and leaching losses of oil palm. In: BASIRON, Y.; JALANI, S.; CHANG, K. C.; CHEAH, S. C.; HENSON, I. E.; KAMARUDIN,

N.; PARANJOTHY, K.; RAJANAIDU, N.; TAYEB, D. (Ed.). **PORIM International Palm Oil Conference, Module-Agriculture**. Kuala Lumpur: PORIM, 1993. p. 105-119.

HENSON, I. E.; HARUN, M. H. Responses of oil palm to an interrupted dry season in North Kedah, Malaysia. **Journal of Oil Palm Research**, Kuala Lumpur, v. 19, n. 1, p. 364-372, Jun. 2007.

HENSON, I. E.; NOOR, M. R. M.; HARUN, M. H.; YAHYA, Z.; MUSTAKIM, S. N. A. Stress development and its detection in young oil palms in North Kedah, Malaysia. **Journal of Oil Palm Research**, Kuala Lumpur, v. 17, n. 1, p. 11-16, 2005.

HOMMA, A. K. O. Agroenergia: a entrada de um novo ciclo na Amazônia? In: GOMES JÚNIOR, R. A. (Ed.). **Bases técnicas para a cultura de palma de óleo integrado na unidade produtiva da agricultura familiar**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. p. 3-5.

HOMMA, A. K. O.; VIEIRA, I. C. G. Colóquio sobre dendezeiro: prioridades de pesquisas econômicas, sociais e ambientais na Amazônia. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, PA, v. 8, n. 15, p. 79-90, jul./dez. 2012.

KALTNER, F. J.; AZEVEDO, G. F. P.; CAMPOS, I. A.; MONDIM, A. O. F. **Liquid biofuels for transportation in Brazil: potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável: Cooperação Técnica Alemã, 2005. 130 p.

KALTNER, F. J.; FURLAN JÚNIOR, J. Processamento industrial de cachos de dendê para a produção de óleos de palma e palmiste. In: VIÉGAS, I. de J. M.; MÜLLER, A. A. (Ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 357-374.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Edusp, 2005. 329 p.

MACEDO, J. L. V. de; RODRIGUES, M. do R. L. Solos da Amazônia e o cultivo do dendezeiro. In: VIÉGAS, I. de J. M.; MÜLLER, A. A. (Ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 73-87.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. de; BERNARDO, S.; SUGAWARA, M. T.; PEÇANHA, A. L.; GOTTARDO, R. D. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos de Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 471-475, set./out. 2007.

MONTEIRO, K. F. G.; HOMMA, A. K. O. Diferentes sistemas de produção com palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) e a participação do Brasil no cenário internacional. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, n. 200, 2014. Disponível em: <<http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/br/14/palma-oleo.html>>. Acesso em: 6 mar. 2015.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resource Research**, v. 12, n. 3, p. 513-522, Jun. 1976.

NELSON, P. N.; BANABAS, M.; SCOTTER, D. R.; WEBB, M. J. Using soil water depletion to measure spatial distribution of root activity in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations. **Plant and Soil**, v. 286, n. 1-2, p.109-121, Aug. 2006.

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

ROCHA, R. N. C. **Culturas intercalares para sustentabilidade da produção de dendê na agricultura familiar**. 2007. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SILVA, F. A. M. da; EVANGELISTA, B. A.; MALAQUIAS, J. V. **Normal climatológica de 1974 a 2003 da Estação Principal da Embrapa Cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2014. 98 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 321).

TAN, K. T.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R.; BHATIA, S. Palm oil: addressing issues and towards sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 2, p. 420-427, Feb. 2009.

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

VEIGA, A. S.; SINIMBU, S. do E. S.; RAMOS, E. J. A. **Irrigação em dendezeiros na região do Acará, Pará**. Belém, PA: DENPASA, 2001. 34 p.

Embrapa

Cerrados

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA

CGPE 12072