

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO DO FEIJÃO-CAUPI CULTIVADO EM SOLO DO CERRADO SUBMETIDO À COBERTURA MORTA

HIPÓLITO MURGA-ORRILLO¹; WELLINGTON FARIAS ARAÚJO²; PAULO ROBERTO RIBEIRO ROCHA³; ROBERTO TADASHI SAKAZAKI⁴; LUIZ FERNANDES SILVA DIONISIO⁵ E ANA ROSA POLO-VARGAS⁶

¹Engenheiro Agrônomo, Prof. Invitado, Universidad Nacional de Cajamarca, (UNC), Av. Atahualpa N° 1050- Carretera Cajamarca-Baños del Inca, Cajamarca, Perú. leohmurga@gmail.com

²Engenheiro Agrônomo, Prof. Dr. Associado da UFRR/CCA, Boa Vista, RR. wellington.araujo@ufr.br

³Engenheiro Agrônomo, Prof. Adjunto da UFRR/CCA, Boa Vista, RR. pauloagro01@yahoo.com.br

⁴Engenheiro Agrônomo, Doutorando na UFRR/CCA, Boa Vista, RR. sakazakitadashi@gmail.com

⁵Engenheiro Florestal, Doutorando na UFRA, Belém, PA. fernandesluz03@gmail.com

⁶Engenheiro Agrônomo, Graduada na UNC, Av. Atahualpa N° 1050- Carretera Cajamarca-Baños del Inca, Cajamarca, Perú. polovargas@gmail.com

1 RESUMO

O conhecimento dos parâmetros hídricos de uma cultura é fundamental para o incremento da produtividade sem o desperdício de água. Objetivou-se com o presente trabalho determinar a evapotranspiração (ET_c) e o coeficiente de cultivo (K_c) da cultura de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) cv. Novaera, em condições de solo com e sem o uso de cobertura morta. O experimento foi conduzido no campus Cauamé da Universidade Federal de Roraima, em Boa Vista, RR, entre os meses de abril a julho de 2014. A evapotranspiração de cultivo (ET_c) foi obtida por meio de lisímetro de drenagem. Os resultados evidenciaram que a ET_c do feijão-caupi para ciclo da cultura sem e com cobertura morta foram de 311,0 e 260,4 mm, com valores médios de 3,5 e 3,0 mm dia⁻¹, respectivamente. O estágio fenológico de maior demanda hídrica foi o reprodutivo atingindo valores de 5,4 mm dia⁻¹ em solo sem cobertura e 4,9 mm dia⁻¹ em solo com cobertura. Os K_c's pelos estádios de desenvolvimento, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III), e final (IV) pelo método de Penman-Monteith foram equivalentes à 0,42; 0,82; 1,60 e 0,79 em solo sem cobertura morta, e 0,30; 0,73; 1,46 e 0,56 em solo com cobertura morta. Semelhante, o método de Jensen-Haise apresentou valores de 0,38; 0,76; 1,31 e 0,61 em solo sem cobertura morta e 0,29; 0,67; 1,19 e 0,42 em solo com cobertura morta.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Otimização de uso de água. Consumo hídrico.

MURGA-ORRILLO, H.; ARAÚJO, W. F.; ROCHA, P. R. R.; SAKAZAKI, R. T.;
DIONISIO, L. F. S.; POLO-VARGAS, A. R.

EVAPOTRANSPIRATION (ET_c) AND CROP COEFFICIENT (K_c) OF COWPEA
CROP IN SOIL WITH AND WITHOUT MULCH COVER IN THE RORAIMA
SAVANNAH

2 ABSTRACT

The determination of water parameters of a crop during its development is essential to maintain yield without wasting water. This study aimed to determine evapotranspiration (ET_c) and crop coefficient (K_c) of cowpea crop (*Vigna unguiculata* L.) cv. Novaera during the various stages

of development in soil conditions with and without mulch. The experiment was conducted in Cauamé, campus of the Federal University of Roraima, from April to July 2014, Boa Vista, Roraima state. Evapotranspiration cultivation (ETc) was obtained by drainage lysimeter, while the evapotranspiration reference (ETo) was estimated by Penman-Monteith and Jensen-Haise methods. The results determined that water consumption of cowpea in soil conditions with and without mulch were 311.0 and 260.4 mm, respectively. For Kc's developmental stages, initial (I), growth (II), reproductive (III), and final (IV), Penman-Monteith method showed values of 0.42, 0.82, 1.60, and 0.79 in soil without mulch, and 0.30, 0.73, 1.46, and 0.56 in soil with mulch, although the Jensen-Haise method showed values of 0.38, 0.76, 1.31 and 0.61 in soil with mulch and 0.29, 0.67, 1.19, and 0.42 in soil with mulch.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Optimization of water use. Water consumption

3 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) é considerado como uma das culturas anuais mais importantes no Brasil. A sua produção concentra-se nas regiões Nordeste e Norte, responsáveis por produzir aproximadamente 783 mil toneladas, contribuindo com 35,6 % da área plantada e 15 % da produção de feijão total (feijão-caupi + feijão comum) no país (EMBRAPA, ARROZ e FEIJÃO, 2012).

A leguminosa apresenta ciclo de cultivo curto e também apresenta baixa exigência hídrica (ANDRADE JÚNIOR; RODRIGUES e BASTOS, 2002). Embora seja cultivada praticamente em todo o território nacional, em várias épocas do ano (DIDONET, 2005), a produtividade média, em especial nas pequenas propriedades, tem sido baixa (FRANÇOIS, 2012), realidade que pode ser alterada com o emprego de tecnologias adequadas (MOUSINHO; ANDRADE JÚNIOR e FRIZZONE, 2008).

Dentre as tecnologias capazes de aumentar os índices de produtividade desta leguminosa, o uso da irrigação tem grande relevância. Não obstante, é importante salientar que o seu manejo adequado é fundamental, visto que a agricultura é responsável pelo consumo significativo dos recursos hídricos disponíveis (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012). Neste sentido, é imprescindível conhecer as necessidades hídricas da cultura nos diferentes estádios fenológicos (MENDONÇA et al., 2007; SOUZA et al., 2011).

Em virtude das limitações espacial e temporal dos recursos hídricos, para o manejo mais eficiente da irrigação é também fundamental conhecer os valores da evapotranspiração da cultura (ETc) e do coeficiente de cultivo (Kc), determinado pela razão entre a ETc e a evapotranspiração de referência (ETo). O conhecimento do Kc possibilita estimar a evapotranspiração da cultura utilizando determinações de ETo com base em dados meteorológicos e o método de Penman-Monteith que é considerado método padrão da FAO (ALLEN et al., 1998).

O conhecimento da ETc e do Kc é fundamental para o manejo e dimensionamento dos sistemas de irrigação (SILVA et al., 2006). No entanto, esses valores variam de acordo a disponibilidade energética da localidade, variedade e idade da cultura (SILVA et al., 2006). Já existem recomendações de Kc para a cultura do feijão-caupi para o Piauí (BASTOS et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2013), Ceará (SARAIVA; SOUZA, LIMA e CARVALHO, 2012), e em outros Estados (CAMPOS; SILVA e SILVA, 2010; OLIVEIRA, 2013). Entretanto, essas informações são escassas para a região do Norte, especialmente para o estado de Roraima, onde a cultura vem ganhando destaque pelo alto valor socioeconômico.

Segundo Souza Filho et al. (2005), a E_{Tc} é influenciada pela energia disponível na superfície, pelo gradiente de pressão de vapor entre a superfície e a atmosfera e pela resistência às transferências de vapor. Deste modo, o manejo da cobertura morta do solo pode influenciar fortemente as taxas de evapotranspiração (ALENN et al., 1998), proporcionando a redução do consumo de água pela cultura sem, no entanto, afetar negativamente a sua produção, além de contribuir para a conservação do solo (RESENDE et al., 2005). Isso torna-se cada vez mais importante, visto que há indícios de que, devido às mudanças climáticas, ocorrerá incremento de 7,5 e 12,8% do consumo de água pelo feijão-caupi para as próximas décadas (SARAIVA; SOUZA, 2012).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho determinar a E_{Tc} e o K_c do feijão-caupi nas condições edafoclimáticas de Boa Vista, Roraima, em solo com e sem cobertura morta, usando os métodos de Penman-Monteith e Jensen-Haise na estimativa da evapotranspiração de referência (E_{To}).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Roraima, campus Cauamé, localizada no município de Boa Vista, RR, cujas coordenadas geográficas de referência são: 2° 52' 17" N, 60° 42' 46" W e altitude de 90 m, no período entre o 12/04/2014 ao 25/06/2014.

O clima da região é classificado como A_w , com temperatura média de 27,4 °C, umidade relativa do ar média anual de 74%, com precipitação média anual de 1.685,6 mm, com uma estação chuvosa, de abril a setembro, e outra seca, de outubro a março e evaporação média anual é de 1940,3 mm (ARAÚJO et al., 2001). As condições ambientais durante o período experimental foram obtidas de uma estação meteorológica automática, modelo *Imetos*, instalada a 500 m do experimento, cujos valores médios estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Condições ambientais durante o período experimental, Boa Vista, Roraima, 2014

Mês	R ($W\ m^{-2}$)	Pp (mm)	U_2 ($m\ s^{-1}$)	Temperatura (°C)	UR (%)
Abril	180,4	34	2,4	28,5	65,6
Mai	189,1	67	2,1	28,5	67,9
Junho	158,7	406,8	0,9	26,3	83,5
Junho	190,7	288,2	1	26,6	80,3
Média	179,7	-	1,6	27,5	74,3

R – Média da radiação solar mensal; Pp - precipitação acumulada; U_2 - Velocidade média do vento a 2m de altura; Temperatura média do ar; UR - umidade relativa média do ar

Fonte: Estação meteorológica da Universidade Federal de Roraima no Campus Cauamé.

Na área experimental, quatro lisímetros de drenagem foram instalados, todos cultivados com feijão-caupi; sendo dois, onde a cultura foi conduzida sob cobertura morta e dois, sem cobertura. Cada lisímetro possuía uma área de 1,60 m^2 e profundidade de 0,74 m e era centrado em uma área de 4,2m x 9,7m. A bordadura tem o objetivo de evitar ou minimizar a advecção de calor sensível de áreas adjacentes.

Para o preenchimento dos lisímetros utilizou-se o mesmo solo da área experimental, o Latossolo Amarelo Distrófico, textura média, densidade do solo de 1,5 $g\ cm^{-3}$ cujas características físicas e químicas estão apresentadas na Tabela 2. Seguindo as recomendações

de Zilli, Vilarinho e Alves (2009), antes do plantio foi realizada a calagem de acordo com a análise de solo e a necessidade da cultura pelo método de saturação por bases. A adubação de plantio constituiu-se de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 102 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se como fontes o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente.

O espaçamento adotado para semeadura foi de 0,5 m entre linhas e densidade de 10 sementes por metro, seguindo as recomendações técnicas de Freire Filho, Lima e Ribeiro (2005) para o feijão-caupi cv. Novaera. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii*, na proporção de 10 g de inoculante, misturado com 10 mL de água, para 5 kg de sementes (ZILLI; VILARINHO e ALVES, 2009).

Tabela 2. Características físicas e químicas do solo do experimento na camada de 0,0-0,2 m de profundidade

Prof. (cm)	pH	Complexo sortivo ⁽¹⁾								V	m	P	C	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	S	t	T					
		cmol _c dm ⁻³								----- % -----	mg dm ⁻³		g dm ⁻³	
0-20	5,18	0,81	0,25	0,02	1,6	2,26	1,08	2,68	3,34	32,34	59,70	5,05	10,01	

⁽¹⁾ pH em água (1:2,5); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹; K⁺ e P: extrator mehlich-1; H+Al: extrator SMP; M.O.: matéria orgânica – oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N; S: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva; T: CTC a pH 7,0; V: índice de saturação por bases; m: índice de saturação por alumínio.

Fonte: Laboratório de solos da Universidade Federal de Roraima.

Um sistema de irrigação por aspersão convencional com emissores NAAN 5022, com bocais de 5,2 x 6,2 mm, foi instalado na área experimental para o fornecimento suplementar de água. O aspersor foi instalado em um espaçamento de 12 m e aplicou-se água a uma vazão de 9 mm h⁻¹. Dados hídricos do solo foram adotados de Venancio (2013), que efetuou trabalho na mesma área experimental, observando-se a VBI (Velocidade Básica de Infiltração) do solo de 12 mm h⁻¹, a umidade na capacidade de campo ($\theta_{cc} = 0,23 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), o ponto de murcha ($\theta_{pm} = 0,12 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) e umidade crítica de $0,18 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

Adotou-se uma frequência de irrigação de dois dias com a finalidade de diminuir a deriva causada pelo vento; as irrigações eram realizadas nos finais de tarde, quando os ventos têm velocidades inferiores a 0,8 m s⁻¹.

A colheita do feijão-caupi ocorreu 88 dias após o plantio (DAP), sendo realizadas três colheitas de forma manual, a partir de 27 de junho de 2014.

A ET_c foi determinada a partir da equação (1), conforme Reichardt e Timm (2014).

$$P + I - D - ET_c = \pm \Delta h \quad (1)$$

Em que:

P - precipitação natural (mm); I - irrigação (mm); D - drenagem profunda (mm); ET_c - evapotranspiração da cultura (mm); Δh - variação da armazenagem da água no solo dentro dos lisímetros (mm).

A variação da armazenagem da água no solo (Δh) foi determinada pela equação (2). A umidade foi determinada antes e depois de cada irrigação pelo método gravimétrico, sendo posteriormente multiplicada pela densidade desse solo de 1,5 g cm⁻³, utilizando a metodologia da EMBRAPA (1997).

Amostras de solo foram retiradas dentro dos lisímetros, antes e depois de cada irrigação, condicionadas, pesadas e levadas a estufa a 105 °C por 48 horas. Posteriormente, foram novamente pesadas e a diferença representou a umidade em massa da amostra, foi determinada a partir da equação (2).

$$\Delta h = (\theta_2 - \theta_1)Z \quad (2)$$

Em que:

θ_2 - a umidade média no solo em volume no dia da irrigação (cm^3/cm^3); θ_1 - a umidade média no solo em volume no dia antes da irrigação (cm^3/cm^3); Z - profundidade adotada no balanço (mm).

A estimativa do K_c , foi determinada utilizando-se a relação dos valores diários das ET_c e ET_o , e calculou-se os K_c 's nos diferentes estádios fenológicos do feijão-caupi, pela equação (3).

Para determinar o K_c do feijão-caupi cv. Novaera, o ciclo da cultura foi dividido em subperíodos de desenvolvimento conforme proposto por Allen et al. (1998): inicial (I): do plantio até 10% de cobertura do solo; crescimento (II): do final do estágio inicial até 80% de cobertura do solo; reprodutivo-florescimento e enchimento de grãos (III): de 80% de cobertura do solo até o início da maturação; final (IV): do início da maturação até a colheita, cujos valores foram estimados através da equação (3), conforme Doorenbos; Pruitt (1977):

$$K_c = ET_c/ET_o \quad (3)$$

Em que:

K_c - coeficiente de cultivo; ET_c - evapotranspiração da cultura (mm); ET_o - evapotranspiração de referência (mm).

A estimativa da ET_o , em mm dia^{-1} , foi realizada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), equação (4).

$$ET_o^{PM} = 0,408\Delta(R_a - G) + \gamma(900/T + 273)U_2(e_s - e_a)/\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2) \quad (4)$$

Em que:

ET_o^{PM} - evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); R_a - radiação no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G - fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); T - temperatura do ar a 2m de altura ($^{\circ}\text{C}$); U_2 - velocidade média diária do vento à altura de 2 m (m s^{-1}); $(e_s - e_a)$ - déficit de pressão de vapor (kPa); Δ -declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ - Constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

A estimativa da ET_o , em mm dia^{-1} , foi realizada pelo método de Jensen-Haise (PEREIRA et al. , 1997), equação (5).

$$ET_o^{JM} = R_s(0,025T_{med} + 00,8) \quad (5)$$

Em que:

ET_o^{JM} - evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); R_s - radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (mm dia^{-1}); T_{med} – Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

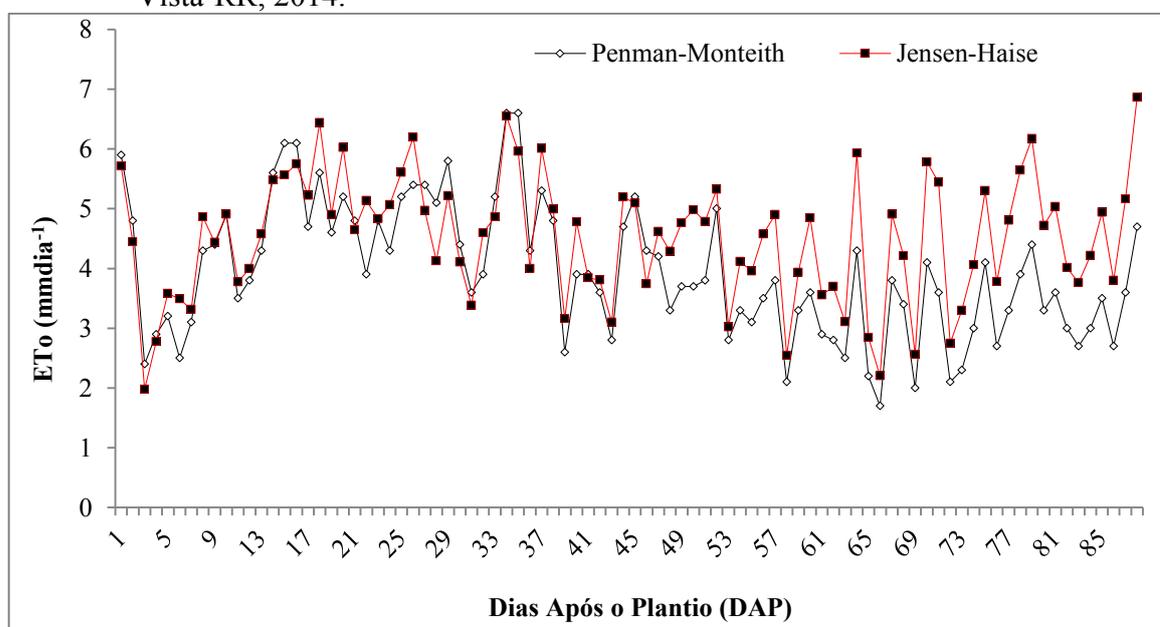
Ao final do experimento, a produção e produtividade de grãos dentro do lisímetro e na área de bordadura foram determinadas e, posteriormente, feita a correção para a umidade dos grãos a 13% de umidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental, as condições climáticas não foram fatores limitantes ao desenvolvimento do feijão-caupi.

Os valores médios da ET_o , estimado pelo método de Penman-Monteith, variaram entre 1,7 e 6,6 mm dia^{-1} e entre 2,0 e 6,9 mm dia^{-1} quando estimado pelo método de Jensen-Haise (Figura 1). Observa-se que os valores estimados pelos métodos apresentaram o mesmo comportamento, no entanto os valores da ET_o^{JH} são, em sua maioria, superiores aos valores da ET_o^{PM} , principalmente a partir do 49º DAP.

Figura 1. Valores médios da ET_o pelos métodos de Penman-Monteith e Jensen-Haise. Boa Vista-RR, 2014.



Na estimativa da ET_o^{PM} , o método de Penman-Monteith, utiliza aspectos aerodinâmicos, termodinâmicos, entre outras variáveis, fatores que nenhum outro método leva em consideração (OLIVEIRA, 2003), por isso é recomendado como método padrão, já que se adapta a diferentes localidades e climas do mundo (ALLEN et al., 2005). O método empírico Jensen-Haise (1963) estima a ET_o^{JH} somente com a temperatura média do ar e a radiação solar global da superfície (CAVALCANTE JUNIOR et al., 2011; SOUZA et al., 2011). Segundo Souza et al. (2011), o método empírico Jensen-Haise é uma equação adequada para regiões áridas e semiáridas, onde a necessidade hídrica da planta é alta.

Os valores acumulados de ET_o^{JH} foram de 68,7; 136,7; 99,9 e 92,1 mm, respectivamente para os estádios I, II, III e IV de desenvolvimento do feijão-caupi. O que resultou em uma média de evapotranspiração de 4,5 mm dia^{-1} , enquanto os valores acumulados de ET_o^{PM} foram de 67,8; 131,0; 82,3 e 65,6 mm, respectivamente para os estádios I, II, III e IV de desenvolvimento do feijão-caupi, o que resultou numa média de evapotranspiração de 3,9 mm dia^{-1} (Tabela 3).

Tabela 3. Duração dos estádios fenológicos, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III), final (IV) da cultura do feijão-caupi, ETo pelos métodos Penman-Monteith (ETo^{PM}) e Jensen-Haise (ETo^{JH}). Boa Vista-RR, 2014

Parâmetros	Estádios fenológicos				Total	
	I	II	III	IV*		
Duração (dias)	16	28	25	19	88	
ETo ^{PM}	(mm)	67,8	131,0	82,3	65,6	346,7
	(mm dia ⁻¹)	4,2	4,7	3,3	3,5	3,9
ETo ^{JH}	(mm)	68,7	136,7	99,9	92,1	397,4
	(mm dia ⁻¹)	4,3	4,9	4,2	4,6	4,5

* I: do plantio até 10% de cobertura do solo; II: do final do estágio I até 80% de cobertura do solo; III: de 80% de cobertura do solo até o início da maturação; IV: do início da maturação até a colheita.

Os valores acumulativos de ETo^{PM} e ETo^{JH} durante o ciclo da cultura foram de 346,7 e 397,4 mm, onde o valor acumulativo da ETo^{JH} superestima em 14,6% o valor acumulativo da ETo^{PM}, provavelmente influenciados pela nebulosidade ocorrida no período experimental. Pesquisas demonstram a influência da época chuvosa no desempenho do método Jensen-Haise na estimativa da ETo, também usando o método de Penman Monteith como padrão. Cavalcante Junior et al. (2011), em Mossoró, RN, verificaram que o método de Jensen-Haise apresentou um desempenho ótimo no período seco, e mediano no período úmido. Outros trabalhos envolvendo a equação de Jensen-Haise apresentam resultados diversos em função do local de estudo e da época (SOUZA et al., 2011).

O ciclo do feijão-caupi cv. Novaera foi de 88 dias, dividido em 16, 28, 25 e 19 dias para os estádios I, II, III e IV, respectivamente. Outros autores (LIMA et al., 2005; SOUZA; BEZERRA e TEÓFILO, 2005; MOUSINHO; ANDRADE JÚNIOR e FRIZZONE, 2008; BASTOS et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2013) determinaram ciclo diferente para feijão-caupi devido a diferença do cultivar e a influência dos elementos climáticos nas diferentes regiões, especialmente os valores de temperaturas médias do ar.

Os valores da ETc de feijão-caupi para diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, em solo sem cobertura morta (ETc_{sc}) e em solo com cobertura morta (ETc_{cc}), apresentaram um comportamento similar ao longo do desenvolvimento da cultura. Entretanto, os valores da ETc_{sc} são, em sua maioria, maiores que ETc_{cc} (Figuras 2 e 3). Estes resultados mostram que a cobertura morta no solo influenciou no consumo de água pela cultura no estágio inicial de desenvolvimento, principalmente pela redução da componente evaporação e ao longo do ciclo também.

Figura 2. Valores médios da evapotranspiração da cultura de feijão-caupi em solo com cobertura ($ET_{c_{cc}}$) e sem cobertura ($ET_{c_{sc}}$), Boa Vista-RR, 2014.

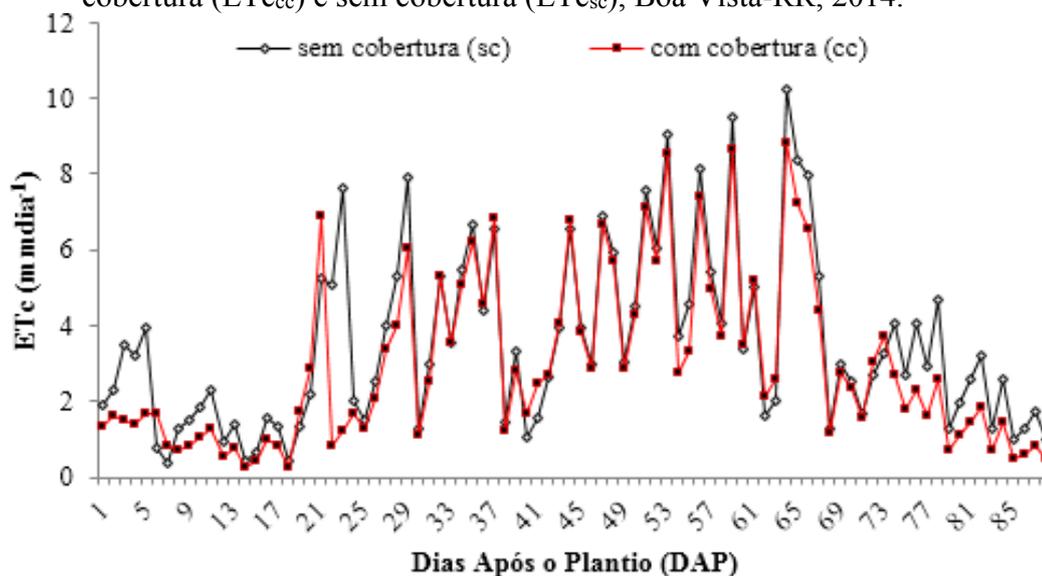
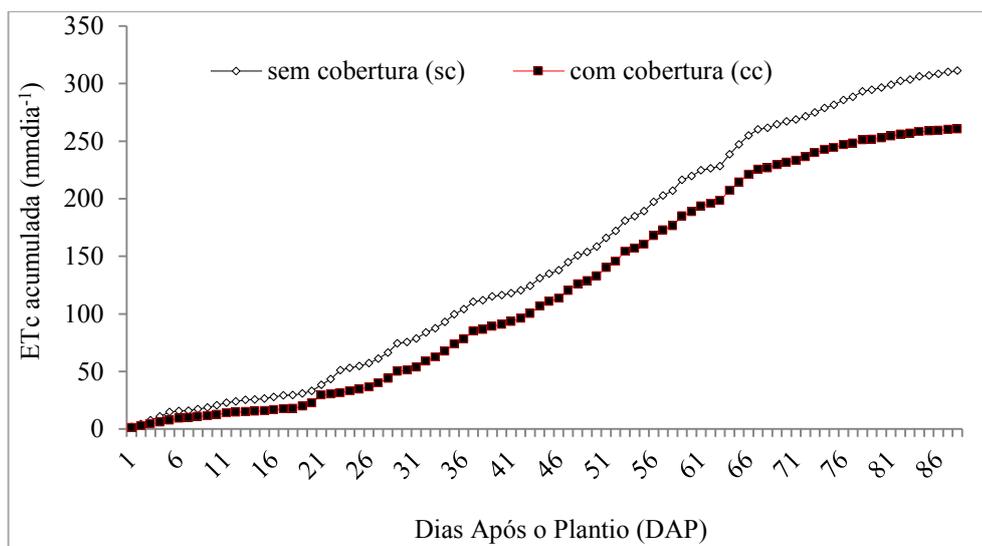


Figura 3. ET_c acumulada da cultura do feijão-caupi em solo sem cobertura morta ($ET_{c_{sc}}$) e com cobertura morta ($ET_{c_{cc}}$), em Boa Vista, RR, 2014.



Segundo Nóbrega et al. (2001), o consumo de água do feijão-caupi (ET_c) aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e na formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação. Na Figura 2 e Tabela 4 são apresentados os dados com valores acumulados e médias diárias para cada estágio fenológico do feijão-caupi.

Tabela 4. Duração dos estádios fenológicos, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) e final (IV) do feijão-caupi cv. Novaera, ETc em solos em cobertura (ETc_{sc}) e com cobertura (ETc_{cc}). Boa Vista-RR, 2014

Parâmetros	Estádios fenológicos				Total	
	I	II	III	IV*		
Duração (dias)	16	28	25	19	88	
ETc _{sc}	(mm)	27,9	103,1	129,6	50,5	311,0
	(mm dia ⁻¹)	1,7	3,7	5,4	2,5	3,5
ETc _{cc}	(mm)	16,8	90,0	118,6	35,0	260,4
	(mm dia ⁻¹)	1,0	3,2	4,9	1,8	3,0

* I: do plantio até 10% de cobertura do solo; II: do final do estágio I até 80% de cobertura do solo; III: de 80% de cobertura do solo até o início da maturação; IV: do início da maturação até a colheita.

Os valores da ETc_{sc} acumulada pelos estádios fenológicos foram superiores em 66,1%; 14,5%; 9,3% e 44,3%, respectivamente; com relação aos valores estimados nos mesmos estádios por ETc_{cc}. Estas diferenças das ETc's são atribuídas ao fato da cobertura morta atuar como barreira mecânica à evapotranspiração e isolante por atenuar as flutuações de temperatura na superfície do solo (ALLEN et al., 1998), conservando a umidade do solo e aumentando a eficiência do uso da água (RESENDE et al., 2005; SILVA, 2012).

Para a cultura de feijão-caupi em condições de solo sem cobertura morta, resultados similares da ETc_{cc} total foram obtidos por Campos et al. (2010) e Oliveira (2013). Para Doorenbos e Kassam (2000), o consumo de água depende das condições edafoclimáticas locais, variando de 300 a 400 mm durante seu ciclo. Andrade et al. (1993) estimaram um consumo de água para o ciclo da cultura de 380 mm. Bastos et al. (2008), trabalhando na variedade BR-17 Gurgueia, mostraram que a ETc foi de 288,5 mm para todo o ciclo da cultura. Souza, Bezerra e Teófilo (2005) determinaram ETc de 337,4 mm para feijão-caupi cv. Setentão.

Em média, a ETc_{sc} para todo o ciclo do feijão-caupi cv. Novaera foi de 3,5 mm dia⁻¹, com médias nos estádios fenológicos de 1,7; 3,7; 5,4 e 2,5 mm dia⁻¹, para os estádios I, II, III e IV, respectivamente. Observa-se um valor máximo de 5,4 mm dia⁻¹ (III), e valor mínimo 1,7 mm dia⁻¹ (I). Igualmente, os valores médios da ETc_{cc} foram de 1,0; 3,2; 4,9 e 1,8 mm dia⁻¹, para os estádios I, II, III e IV, respectivamente. Nesse caso, a média geral foi de 3 mm dia⁻¹, enquanto os valores máximos e mínimos foram de 4,9 mm dia⁻¹ (III) e 1,0 mm dia⁻¹ (I). Os valores da ETc_{cc} foram inferiores aos valores da ETc_{sc} em todas os estádios de desenvolvimento da cultura (Tabela 4).

Outros estudos feitos, em solo sem cobertura morta (ETc_{sc}), determinaram valores do consumo hídrico diário do feijão-caupi muito próximos aos obtidos nesse trabalho. Oliveira et al. (2013) verificaram que o consumo diário de água no estágio inicial (I) raramente excede 3,0 mm. Bezerra et al. (2003) indicaram que o máximo consumo hídrico ocorre no estágio III, onde pode-se elevar para 5,0 a 5,5 mm diários. Na região Nordeste, Bastos et al. (2008), trabalhando com a variedade BR-17 Gurgueia, determinaram um valor médio da cultura de 4,1 mm dia⁻¹; já Lima et al. (2005) determinaram uma média de 3,84 mm dia⁻¹, com valor máximo de 5,0 mm dia⁻¹ e mínimo de 2,7 mm dia⁻¹. Observa-se, entretanto, que nesta mesma região, há valores mais altos de consumo hídrico diário do feijão-caupi devido a cultivos estabelecidos em época de maior demanda hídrica. Souza, Bezerra e Teófilo (2005), trabalhando com o cv. Setentão, determinaram médias de consumo mínimo de 2,0 mm dia⁻¹ (I) e máximo 7,7 mm dia⁻¹ (III), sendo a média geral de 5,2 mm dia⁻¹. Saraiva e Souza (2012) determinaram média de consumo máximo de 7,10 mm dia⁻¹ (III), e média mínima de 4,74 mm dia⁻¹ (IV). Andrade et al. (1993)

obtiveram valores que variaram de 5 mm dia⁻¹ (I) a 9 mm dia⁻¹ (III), com consumo médio de água durante o ciclo da cultura de 6,3 mm dia⁻¹. Esse trabalho, em particular, foi realizado sob intensa demanda evaporativa.

Os resultados das variações dos valores dos Kc's médios em solo com cobertura morta (Kc_{cc}) e sem cobertura morta (Kc_{sc}) para diferentes estádios de desenvolvimento do feijão-caupi apresentam-se na Tabela 5 e nas Figuras 4 e 7.

Tabela 5. Estádios fenológicos: inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) e final (IV), médias de Kc's em solo com cobertura (Kc_{cc}) e sem cobertura (Kc_{sc}), e desvio-padrão (DP), obtidos pelos métodos Penman Monteith e Jensen-Haise. Boa Vista-RR, 2014

Estádios	Duração DiasPenman Monteith.....			Jensen-Haise.....			
		Kc _{sc}	DP	Kc _{cc}	DP	Kc _{sc}	DP	Kc _{cc}	DP
I*	16	0,42	0,15	0,30	0,18	0,38	0,16	0,29	0,14
II	28	0,82	0,21	0,73	0,26	0,76	0,23	0,67	0,28
III	25	1,60	0,34	1,46	0,23	1,31	0,23	1,19	0,15
IV	19	0,79	0,30	0,56	0,34	0,61	0,22	0,42	0,24

*I: do plantio até 10% de cobertura do solo; II: do final do estágio I até 80% de cobertura do solo; III: de 80% de cobertura do solo até o início da maturação; IV: do início da maturação até a colheita.

Tendo em consideração os estádios fenológicos do feijão-caupi e o método de estimativa Penman Monteith (ETo^{PM}) observa-se que o Kc_{sc} médio em todos os estádios foi superior ao Kc_{cc} médios nos mesmos estádios (Tabela 5). Os resultados se assemelham quando se estimam os valores por Jensen-Haise (ETo^{JH}).

Figura 4. Variações dos Kc_{sc} e Kc_{cc} do feijão-caupi obtidos pela estimativa da ETo pelo método Penman Monteith (ETo^{PM}).

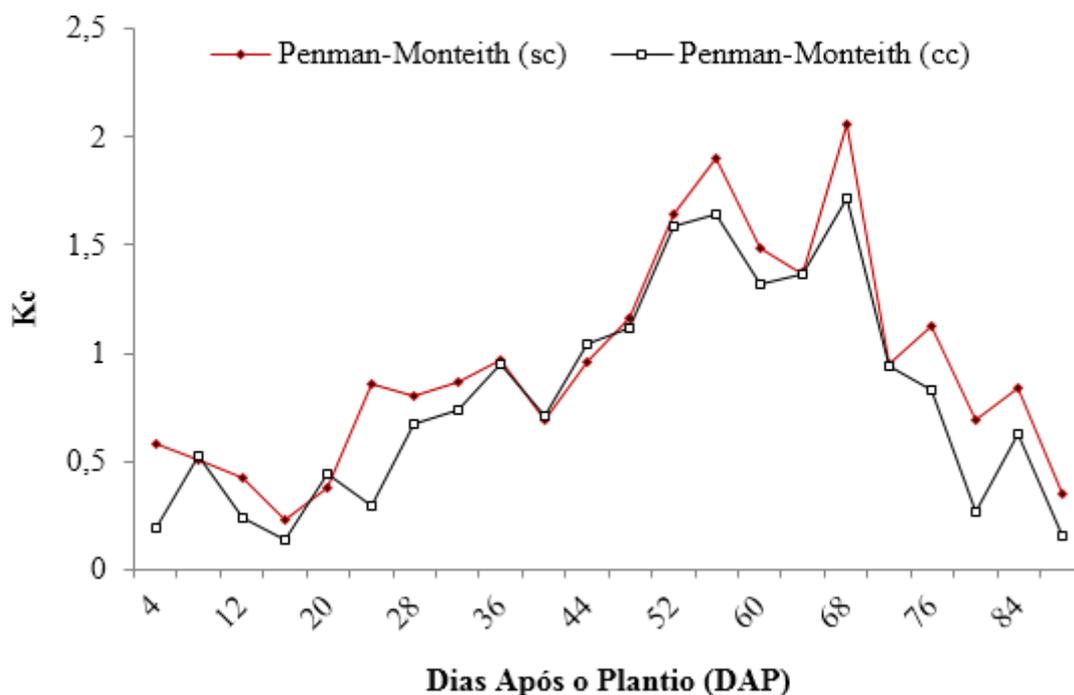
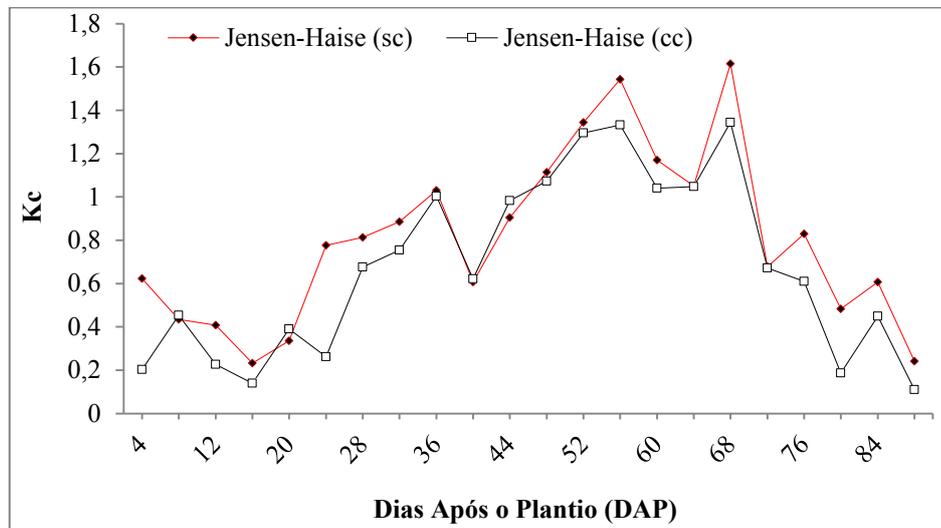


Figura 5. Variações dos K_{sc} e K_{cc} do feijão-caupi obtidos pela estimativa da ETo pelo método Jensen-Haise (ETo^{JH}).



Contrastando o K_{sc} e tipos de métodos de estimativa (Tabela 5), no método Penman Monteith (ETo^{PM}) observa-se que os K_{sc} médios dos estádios I-0,42; II-0,82; III-1,60 e IV-0,79 são todos maiores em relação ao método Jensen-Haise (ETo^{JH}), cujos K_{sc} médios são nos estádios I-0,38; II-0,76; III-1,31 e IV-0,61, nota-se igualmente estas variações para o ciclo da cultura, na Figura 7. Assim mesmo os K_{cc} pelo método de estimativa de Penman Monteith (ETo^{PM}) apresenta valores médios nos estádios I-0,30; II-0,73; III-1,46 e IV-0,56; sendo todos estes maiores aos obtidos pelo método de estimativa do Jensen-Haise (ETo^{JH}), os quais são nos estádios I-0,29; II-0,67; III-1,19, e IV-0,42. Pode-se distinguir também estas variações durante o ciclo da cultura, na Figura 8.

Figura 6. Variação do K_{sc} do feijão-caupi obtidos pelas estimativas das ETo pelos métodos Penman Monteith (ETo^{PM}) e Jensen-Haise (ETo^{JH}).

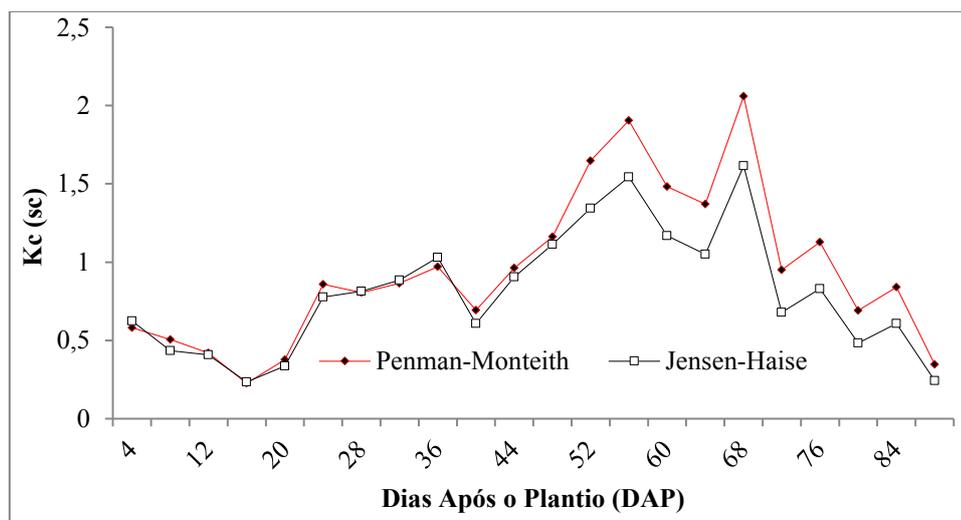
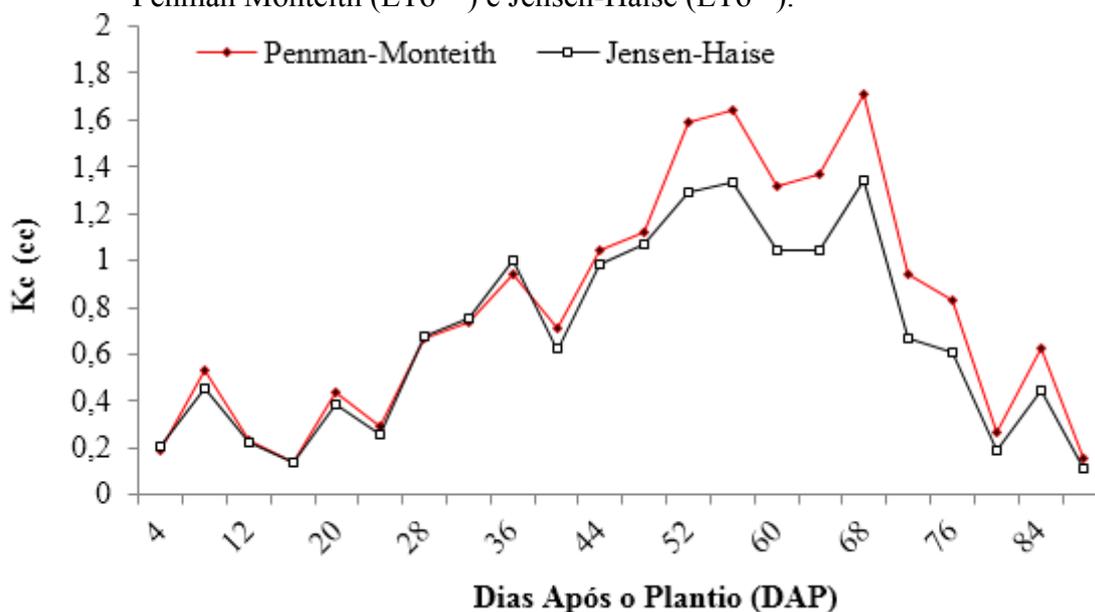


Figura 7. Variação do K_{cc} do feijão-caupi obtidos pelas estimativas das ETo pelos métodos Penman Monteith (ETo^{PM}) e Jensen-Haise (ETo^{JH}).



Pesquisas realizadas com diferentes cultivares e variedades de feijão-caupi constataram valores similares de K_c para o solo sem cobertura (K_{csc}). No estado do Piauí, Andrade Júnior et al. (2002) obtiveram valores de K_c por estágio de desenvolvimento I-0,50; II-0,80; III-1,05 e IV-0,75. Bastos et al. (2008), trabalhando com a variedade BR-17- Gurguéia, apresentam valores de K_c para os estádios de desenvolvimento I- 0,8; II-1,1; III-1,4 e IV-0,3. Oliveira et al. (2013) determinaram na variedade BRS Guariba, os valores K_c nos estádios equivalentes à I-0,45; II-0,76; III-1,13 e IV-0,48. Mousinho, Andrade Júnior e Frizzone (2008) obtiveram valores de K_c para cada estágio de desenvolvimento de I-0,40; II-0,80; III-1,20 e IV-0,70, respectivamente. No estado do Ceará, Saraiva e Souza (2012) determinaram valores de K_c nos estádios I-0,78; II-0,83-1,00; III-1,02 e IV-0,69. Souza, Bezerra e Teófilo (2005), trabalhando com feijão-caupi cv. Setentão, determinaram o K_c , por dois métodos de estimativa (tanque classe A e Penman-Monteith), cujos valores oscilaram de 0,81; 1,36 e 0,77 para o primeiro método e de 0,78; 1,27 e 0,69 por Penman-Monteith pelos estádios de desenvolvimento vegetativo, floração e maturação, respectivamente.

Quanto à produtividade, os valores obtidos foram de $1020,9 \text{ kg ha}^{-1}$ e $1016,8 \text{ kg ha}^{-1}$ para as áreas sem cobertura e com cobertura, respectivamente. Em trabalhos no Nordeste, sem uso de cobertura no solo, em feijão-caupi irrigado, Nascimento et al. (2011) obtiveram rendimentos de 1167 kg ha^{-1} , e Oliveira (2013) obtivera $1.668,8 \text{ kg ha}^{-1}$ numa densidade de $241000 \text{ plantas ha}^{-1}$. Segundo Freire Filho et al. (2005), o feijão-caupi, com a adoção de tecnologia, como irrigação, correção e adubação do solo, possibilita rendimentos médios de 2500 kg ha^{-1} . De maneira geral na região Norte, o feijão-caupi apresenta rendimentos de 780 kg ha^{-1} , e em Roraima, os rendimentos são de 667 kg ha^{-1} (IBGE, 2012).

6 CONCLUSÕES

O feijão-caupi cultivado em solo com cobertura morta reduz o consumo de água em 19,4%, em relação ao solo sem cobertura.

Os valores do coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-caupi variam entre o solo com cobertura e solo sem cobertura e podem ser diferentes em função do método de estimativa da evapotranspiração de referência.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Processo 575587/2008-3) e ao Banco Santander pelo auxílio financiamento à pesquisa.

8 REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998, 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R.G.; PRUITT, W.O.; RAES, D.; SMITH, M.; PEREIRA L.S. Estimating evaporation from bare soil and the crop coefficient for the initial period using common soils information. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, California, v. 131, n. 1, p. 14-23, 2005.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; BASTOS, E. A. Irrigação. In: CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. p. 127 – 154. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 28).

ANDRADE, C. L. T.; SILVA, A. D.; SOUZA, I. D.; CONCEIÇÃO, M. A. F. **Coefficientes de cultivo e de irrigação para o caupi**. Teresina, EMBRAPA, CNPAI, 1993. 6 p. (Comunicado Técnico, 9).

ARAÚJO, W. F.; ANDRADE JUNIOR, A. S. D.; MEDEIROS, R. D. D.; SAMPAIO, R. A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 563-567, 2001.

BASTOS, E.; FERREIRA, V.; SILVA, C.; ANDRADE JÚNIOR, A. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurguéia, Piauí. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2. p. 182-190, 2008.

BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. D. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 05-10, 2003.

CAMPOS, C.; SILVA, T.; SILVA, R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 396-404, 2010.

CARVALHO, D.F.; OLIVEIRA, L.F.C. **Planejamento e Manejo da Água na Agricultura Irrigada**. Viçosa: UFV, 2012. 240p.

- CAVALCANTE JR, G.; OLIVEIRA, D.; ALMEIDA, M.; SOBRINHO, E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1699-1708, 2011.
- DIDONET, A. D. Ecofisiologia e rendimento potencial do feijoeiro. In: Peloso, M. J. Del; Melo, L. C. (ed.) **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro comum**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. Cap.1, p.9-37.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. de H.R. Gheyi et al. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 221p. (FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 2. ed. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Home Page. Socioeconomia para arroz e feijão. 2012. Disponível em: www.embrapa.br/arroz-e-feijao, Acesso em: 13 out. 2014.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de metodos de analises de solos / Centro Nacional de Pesquisa de Solos.-2. ed. rev. atual.-Rio de Janeiro, 212p. 1997.
- FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2012.
- FREIRE FILHO, F. R.; LIMA J. A. de A.; RIBEIRO V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte. p. 243-277, 2005.
- I INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Culturas temporárias e permanentes. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, v. 39, p.1-101, 2012.
- JENSEN, M.E. AND HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. **Journal of the Irrigation and Drainage**, Division, 89, p. 15-41, 1963.
- LIMA, J. R. D. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. O.; SILVA, I. F. D. Estimativa da evapotranspiração em uma cultura de feijão caupi, nas condições do brejo paraibano. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 26, n. 2, p.86-92, 2005.
- MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. de F.; BERNARDO, S.; SUGAWARA, M. T.; PEÇANHA, A. L.; GOTTARDO, R. D. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.

MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. de S.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 139-145, 2008.

NASCIMENTO, P.; BASTOS, E.; ARAÚJO, E.; FREIRE FILHO, R.; SILVA, M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V.; BELTRÃO, N. E. D. M.; FILHO, J. F. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n.3, p. 437-443, 2001.

OLIVEIRA S. R. M. **Densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação**. 2013. 104 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2013.

OLIVEIRA, A. D. D. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência utilizando dados de uma estação meteorológica convencional e automática**. 2003. 124f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Jaboticabal, 2003.

OLIVEIRA, S. R. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RIBEIRO J. L.; E BARROS, M. A. Coeficientes de cultura do algodão herbáceo e do feijão-caupi em sistemas monocultivo e consorciado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.7, n. 3, p. 191 - 200, 2013.

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

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

RESENDE, F. V.; SOUZA, L. S. D.; OLIVEIRA, P. S. R. D.; GUALBERTO, R. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 100-105, 2005.

SARAIVA, R. E SOUZA, F. O efeito das mudanças climáticas nas necessidades hídricas do feijão-caupi no curu-pentecoste utilizando o modelo "ISAREG". **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 6, n. 1. p. 8-13. 2012.

SILVA, C. R. D.; JÚNIOR, J. A.; DA SILVA, T. J. A.; FOLEGATTI, M. V.; CAMPECHE, L. F. D. S. M. Variação sazonal na evapotranspiração de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti'. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n.1, p. 26-35, 2006.

SILVA, J. J. D. N. **Dotações hídricas e cobertura morta na cultura da mamona em Neossolo Flúvico no semiárido pernambucano**. 2012. 81 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrária**, Recife, v. 7, n. 1, p. 142-149, 2012.

SOUZA, A. P.; PEREIRA, J. B. A.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D.F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011.

SOUZA, M. S. M.; BEZERRA, F. M. L.; TEÓFILO, E. M. Coeficientes de cultura do feijão-caupi na região litorânea do Ceará. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 241-248, 2005.

VENANCIO, J.B. **Produção de Mudanças e cultivo de Abacaxizeiro em condições de campo sob adubação potássica e lâminas de Irrigação**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Roraima. Boa Vista - RR. 2013.

ZILLI, J.E.; ALCANTARA, V.A.; ARCANJO, J.M. **A cultura do feijão-caupi na Amazônia Brasileira**. Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2009. 356p.