



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - POSAGRO

HIPÓLITO MURGA ORRILLO

**DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO (E_{tc}) E COEFICIENTE DE
CULTIVO (K_c) DAS CULTURAS DE FEIJÃO - CAUPI E MILHO NO CERRADO DE
RORAIMA**

Boa Vista, RR

2015

HIPÓLITO MURGA ORRILLO

DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ET_c) E COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) DAS CULTURAS DE FEIJÃO - CAUPI E MILHO NO CERRADO DE RORAIMA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Roraima em parceria com a EMBRAPA Roraima para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Dr. Wellington Farias Araújo

Co-orientador: Dr. Paulo Roberto Ribeiro Rocha

Boa Vista-RR

2015

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

M976d Murga Orrillo, Hipólito.

Determinação da evapotranspiração (ETc) e coeficiente de cultivo (Kc) das culturas de feijão-caupi e milho no cerrado de Roraima / Hipólito Murga Orrillo. – Boa Vista, 2015.
73f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Farias Araújo.

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Ribeiro Rocha.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

1 – Evapotranspiração. 2 – Cobertura do solo. 3 – Feijão-caupi. 4 – Milho. 5 – Roraima. I – Título. II – Araújo, Wellington Farias (orientador). III – Rocha, Paulo Roberto Ribeiro (co-orientador).

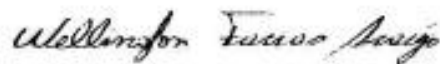
CDU – 63:551.573

HIPÓLITO MURGA ORRILLO

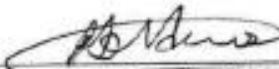
Determinação da evapotranspiração (ETc) e coeficiente de cultivo (Kc) das culturas de feijão-caupi e milho no cerrado de Roraima

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Roraima, em parceria com a Embrapa Roraima, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

Aprovada: 27 de fevereiro de 2015.



Prof. Dr. Wellington Farias Araújo
Orientador – UFRR



Pesquisador Dr. Roberto Dantas de Medeiros
Embrapa Roraima



Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo
UFRR



Prof. Dr. Leandro Torres de Souza
UFRR

A meu querido Perú, terra milenária dos Incas,

A minha esposa Ana Rosa e minha filha Arianne Isabella,

Aos meus avôs Estevan e Fredesvinda.

Com amor e em amor ofereço.

A Celendín céu azul do Eden e a Cortegana amada,
sempre fazem lembrar de onde sou, desde meu coração

Os dedico

Uma força sem amor, é uma força inútil.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus, força e vínculo universal que dá sentido superior a minha vida.

Aos meus pais Maria Orrillo Muñoz e Víctor Ulises Murga Pereyra, por dar a minha vida personalidade, firmeza e fortaleza, isso me faz olhar além do horizonte.

À minha esposa companheira incondicional Ana Rosa Polo Vargas, por sua tolerância, complemento e apoio.

Aos meus sogros Sr. Marcos Polo e Sra. Vilma Vargas, e aos meus cunhados Liliana, Maricruz, e Antony, pelo apoio, confiança, estou muito grato.

Aos meus avôs Estevan e Fredesvinda, por direcionar meus passos na luta, perseverança, humildade, estou eternamente agradecido.

À Universidade Federal de Roraima (UFRR) e a seu corpo docente.

Ao banco Santander pelo financiamento do experimento.

Ao Programa de Alianças para a Educação e a Capacitação (PAEC), no Âmbito do Acordo de Cooperação entre a Organização dos Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra das Universidades Brasileiras (GCUB), pela concessão de dois anos da bolsa de estudos.

Aos professores Dr. Wellington Farias Araújo e Dr. Paulo Roberto Ribeiro Rocha, pelo apoio, orientação e tolerância, estarei eternamente grato.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Agronomia (POSAGRO), pelas exigências, pelos ensinamentos, pelas orientações e pela amizade.

Ao Engenheiro Carlos Abanto Rodriguez, M. Sc., Pesquisador do Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruna (IIAP), pelo apoio, confiança, amizade e estímulo.

Ao Doutorando, Ricardo Bardales Lozano, por sua amizade, confiança, compartilhamentos e apoio, estou muito grato.

Ao Doutorando da Rede Bionorte, e Pesquisador do Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruna (IIAP), Mario Pinedo Panduro, por seu compromisso com uma visão importante, nobre, elevada e transformadora.

Aos meus colegas de Mestrado de Agronomia turma 2013.I, Carla Klis dos Santos Ximenes, Roberto Tadashi Sakazaki, Luiz Fernandes Silva Dionísio, Marcos Wanderley da Silva, Paula Monique Carvalho da Silva, Denysson Amorim da Silva, Maysa Mathias Alves Pereira, Luis Augusto Melo Schwengber.

E sobre todo ao Brasil, país acolhedor, pela oportunidade que me dá de seguir crescendo como profissional e também no aspecto pessoal.

BIOGRAFIA

HIPÓLITO MURGA ORRILLO, filho de Victor Ulises Murga Pereyra e Maria Orrillo Muñoz nasceu um dia 13 de agosto de 1980, em Celendín, Cajamarca, Perú. Em outubro de 2004 iniciou o curso de Agronomia na Universidade Nacional de Cajamarca-UNC, graduando-se em fevereiro de 2010. Desde então vem se desempenhando no campo da agronomia, trabalhando no ano 2010 na Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ), no ano 2011 em Sierra Exportadora (SIEX) e no ano 2012 no Instituto para la Conservación y el Desarrollo Integral Sostenible-Cuencas Andinas (ICA). Em novembro de 2012 foi selecionado para o curso de Mestrado em Agronomia da Universidade Federal de Roraima (UFRR), amparado pelo Programa de Alianças para a Educação e a Capacitação PAEC-OEA-GCUB-2012, no Âmbito do Acordo de Cooperação entre a Organização dos Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra das Universidades Brasileiras (GCUB). É casado com Ana Rosa Polo Vargas, com quem tem uma filha chamada Arianne Isabella.

MURGA ORRILLO, Hipólito. **Determinação da evapotranspiração (ET_c) e coeficiente de cultivo (K_c) das culturas de feijão-caupi e milho no cerrado de Roraima. 2015.** 73 f. Dissertação de mestrado em Agronomia - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2015.

RESUMO

O recurso hídrico é essencial na produção de alimentos, sendo prioridade otimizá-lo nos dias de hoje. Nesse sentido, recomenda-se adotar e implementar estratégias que envolvam aspectos socioeconômicos e ambientais, tal como a cobertura do solo. Esse recurso apresenta benefícios na conservação de solo e água, diminuindo o consumo de água pela cultura. Na agricultura irrigada, é fundamental conhecer os valores da evapotranspiração da cultura (ET_c) e do coeficiente de cultivo (K_c) em condições locais. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho obter a ET_c e K_c para as culturas de feijão-caupi e milho em seus diferentes estádios de desenvolvimento, nas condições edafoclimáticas de Boa Vista, RR, em solo com e sem cobertura morta. As ET_c's foram obtidas por meio de lisímetro de drenagem, enquanto a evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelos métodos de Penman-Monteith e Jensen-Haise. Verificou-se que a cobertura do solo propiciou valores diferentes e inferiores de ET_c's e dos K_c's para o feijão-caupi e milho, em relação as mesmas variáveis no solo sem cobertura. Os valores da ET_c do feijão-caupi em solo sem cobertura foi de 311,0 mm em todo ciclo; enquanto, que a ET_c para solo com cobertura foi de 260,4 mm. Para o milho, a ET_c observada em solo sem cobertura foi de 421,5 mm; enquanto, a ET_c em solo com cobertura foi de 351,0 mm. Os K_c's do feijão-caupi cultivado em solo sem cobertura, segundo estádios fenológicos e pelo método de Penman-Monteith, apresentaram os valores de 0,42; 0,82; 1,60 e 0,79, enquanto para o feijão-caupi cultivado em solo com cobertura foi de 0,30; 0,73; 1,46 e 0,56. Os K_c's do milho cultivado em solo sem cobertura, segundo estádios fenológicos e pelo método de Penman-Monteith, foram de 0,40; 0,84; 1,59 e 0,81; enquanto para solos com cobertura foram observados os valores de 0,28; 0,64; 1,49 e 0,48. Os valores de ET_o por Jensen-Haise foram superiores aos estimados por Penman-Monteith, resultando em valores diferentes de ET_c e K_c para as culturas.

Palavras -chave: Cobertura no solo, otimização de uso da água, feijão-caupi, milho.

MURGA ORRILLO, Hipólito. **Determination of evapotranspiration (ET_c) and crop coefficient (K_c) of crops of cowpea and maize in Roraima savannah.** 2015. 73 f. Master's thesis in Agronomy - Federal University of Roraima, Boa Vista, 2015.

ABSTRACT

The water resource is essential for food production, with priority optimize it today. In this sense, it is recommended to adopt and implement strategies that involve socio-economic and environmental aspects, such as ground cover. This feature provides benefits in soil and water conservation, reducing water consumption by culture. In irrigated agriculture, it is important to know the culture of evapotranspiration values (ET_c) and crop coefficient (K_c) in local conditions. Thus, the aim of the present work to obtain the ET_c and K_c for cowpea and corn crops in their different stages of development, at conditions of Boa Vista, Roraima, in soil with and without mulch. The ET_c's were obtained by drainage lysimeter, while the reference evapotranspiration (ET_o) was estimated by the Penman-Monteith methods and Jensen-Haise. It was found that the ground cover provided different and lower values of ET_c's and K_c's for cowpea and maize, for the same variables in the bare soil. The values of ET_c of cowpea in bare soil were 311.0mm over cycle; while the ET_c for soil coverage was 260.4mm. For corn, the ET_c observed in bare soil was 421.5 mm; whilst, ET_c in soil coverage was 351.0mm. The K_c's cowpea grown in bare soil, according to phenological stages and the Penman-Monteith method, showed the values 0.42; 0.82; 1.60 and 0.79, while for cowpea grown in soil with cover was 0.30; 0.73; 1.46 and 0,56. The corn crop K_c's in bare soil, according to phenological stages and the Penman-Monteith method, were 0.40; 0.84; 1.59 and 0.81; while the corn crop K_c's for cover soil were observed values of 0.28; 0.64; 1.49 and 0.48. The ET_o values by Jensen-Haise were higher than those estimated by Penman-Monteith, resulting in different values ET_c and K_c for cowpea and maize.

Key words: Cover the soil, use of optimization of water, cowpea, maize.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETo), EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ETc) E COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc).....	15
2.1.1. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo).....	16
2.2. LISIMETRIA.....	17
2.3. COBERTURAMORTA NO SOLO.....	18
2.4. CULTURA DE FEIJÃO-CAUPI.....	20
2.4.1. Consumo hídrico do feijão-caupi.....	21
2.4.2. Coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-caupi.....	22
2.5. CULTURA DE MILHO.....	23
2.5.1. Consumo hídrico do milho.....	24
2.5.2. Coeficiente de cultivo (Kc) da cultura de milho.....	25
2.6. REFERÊNCIAS.....	27
3. ARTIGO I - EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ETc) E COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) DO FEIJÃO-CAUPI EM SOLO COM E SEM COBERTURA MORTA NO CERRADO DE RORAIMA	33
3.1. RESUMO.....	33
3.2. ABSTRACT.....	34
3.3. INTRODUÇÃO.....	35
3.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.5. RESULTADO E DISCUSSÕES.....	41
3.5.1. Evapotranspiração de referencia (ETo).....	41
3.5.2. Evapotranspiração da cultura (ETc).....	43
3.5.3. Coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-caupi.....	46
3.6. CONCLUSÕES.....	50
3.7. REFERÊNCIAS.....	51
4. ARTIGO II- EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ETc) E COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) DE MILHO, EM SOLO COM E SEM COBERTURA MORTA NO CERRADO DE RORAIMA	54
4.1. RESUMO.....	54
4.2. ABSTRACT.....	55
4.3. INTRODUÇÃO.....	56
4.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	57
4.5. RESULTADO E DISCUSSÕES.....	61
4.5.1. Evapotranspiração de referencia (ETo).....	61
4.5.2. Evapotranspiração da cultura (ETc) de milho.....	62
4.5.3. Coeficiente de cultivo (Kc) de milho.....	66
4.6. CONCLUSÕES.....	70
4.7. REFERÊNCIAS.....	71

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1 - Médias do saldo de radiação solar (R_n), somatória mensal da precipitação (P_p), vento (U_2), temperatura do ar ($Temp$) e umidade relativa do ar (UR). Boa Vista, RR, 2014.....	37
Tabela 2 - Características físicas e químicas do solo do experimento na camada de 0,0-0,2 m de profundidade.....	38
Tabela 3 - Duração dos estádios fenológicos, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III), final (IV) da cultura do feijão-caupi, E_{To} pelos métodos Penman-Monteith ($E_{To_{PM}}$) e Jensen-Haise ($E_{To_{JH}}$). Boa Vista-RR, 2014.....	43
Tabela 4 - Duração dos estádios fenológicos, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) e final (IV) do feijão-caupi cv. Novaera, E_{Tc} em solos em cobertura ($E_{Tc_{sc}}$) e com cobertura ($E_{Tc_{cc}}$). Boa Vista-RR, 2014.....	45
Tabela 5 - Estádios fenológicos: inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) e final (IV), médias de K_c 's em solo com cobertura ($K_{c_{cc}}$) e sem cobertura ($K_{c_{cs}}$), e desvio-padrão (DP), obtidos pelos métodos Penman Monteith e Jensen-Haise. Boa Vista-RR, 2014.....	47

ARTIGO II

Tabela 1 - Médias do saldo de radiação solar, (R_n), somatória mensal da precipitação (P_p), vento (U_2), temperatura do ar ($Temp$) e umidade relativa do ar (UR). Boa Vista, RR, 2014.....	57
Tabela 2 - Características físicas e químicas do solo do experimento na camada de 0,0-0,2 m de profundidade.....	58
Tabela 3 - Duração dos estádios fenológicos, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) e final (IV) da cultura do milho, E_{To} pelos métodos Penman-Monteith (E_{To}^{PM}) e Jensen-Haise ($E_{To_{JH}}$). Boa Vista-RR, 2014.....	62
Tabela 4 - Duração dos estádios fenológicos, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) e final (IV) da cultura do milho, E_{Tc} sem cobertura ($E_{Tc_{sc}}$) e com cobertura ($E_{Tc_{cc}}$) no solo. Boa Vista-RR, 2014.....	65
Tabela 5 - Estádios fenológicos: inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) e final (IV), médias de K_c 's em solo com cobertura ($K_{c_{cc}}$) e sem cobertura ($K_{c_{cs}}$), e desvio-padrão (DP), obtidos pelos métodos Penman Monteith e Jensen-Haise. Boa Vista-RR, 2014.....	66

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figura 1 - Lisímetros de drenagem com a cultura do feijão-caupi cv. Novaera nos estádios: a) inicial (10% de cobertura do solo); b) reprodutivo (início da maturação); c) crescimento (70% de cobertura); d) final (enchido de vagens). Boa Vista-RR, 2014.....	40
Figura 2 - Valores médios da ETo comprados pelo método Penman-Monteith e Jensen-Haise. Boa Vista-RR, 2014.....	42
Figura 3 - Valores médios comparados da evapotranspiração da cultura de feijão-caupi em solo com cobertura (ET _{c_{cc}}) e sem cobertura (ET _{c_{sc}}). Boa Vista-RR, 2014....	44
Figura 4 - ETc 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.....	44
Figura 5 - Variações dos K _{c_{sc}} e K _{c_{cc}} do feijão-caupi obtidos pela estimativa da ETo do método Penman Monteith (ET _o ^{PM}).....	47
Figura 6 - Variações dos K _{c_{sc}} e K _{c_{cc}} do feijão-caupi obtidos pela estimativa da ETo do método Jensen-Haise (ET _o _{HS}).....	48
Figura 7 - Variação do K _{c_{sc}} do feijão-caupi obtidos pelas estimativas das ETo do método Penman Monteith (ET _o ^{PM}) e Jensen-Haise(ET _o _{HS}).....	48
Figura 8 - Variação do K _{c_{cc}} do feijão-caupi obtidos pelas estimativas das ETo do método Penman Monteith (ET _o ^{PM}) e Jensen-Haise (ET _o _{HS}).....	49

ARTIGO II

Figura 1 -Lisímetros de drenagem com a cultura do milho nos estádios de desenvolvimento: a) Inicial (10% de cobertura), b) Desenvolvimento (70% da cobertura do solo), c) Intermediária (início da maturação dos grãos), d) Final (maturação). Boa Vista-RR, 2014.....	60
Figura 2 - Valores médios da ETo comprados entre o método Penman-Monteith (ET _o ^{PM}) e método Jensen-Haise (ET _o _{JH}). Boa Vista-RR, 2014.....	63
Figura 3 - Valores médios comparados da ETc de milho em condições com cobertura morta (ET _{c_{cc}}) e sem cobertura morta (ET _{c_{sc}}) no solo. Boa Vista-RR, 2014.....	64
Figura 4 - ETc acumulada da cultura do milho, para condições sem cobertura morta (ET _{c_{sc}}) e com cobertura morta (ET _{c_{cc}}) no solo. Boa Vista, RR, 2014.....	66
Figura 5 - Variações dos K _{c_{sc}} e K _{c_{cc}} do milho obtidos pela estimativa da ETo do método Penman-Monteith (ET _o ^{PM}).....	67
Figura 6 - Variações dos K _{c_{sc}} e K _{c_{cc}} do milho obtidos pela estimativa da ETo do método Jensen-Haise (ET _o _{JH}).....	67
Figura 7 - Variação do K _{c_{sc}} do milho obtidos pelas estimativas das ETo do método Penman-Monteith (ET _o ^{PM}) e Jensen-Haise (ET _o _{JH}).....	69
Figura 8 - Variação do K _{c_{cc}} do milho obtidos pelas estimativas das ETo do método Penman-Monteith (ET _o ^{PM}) e Jensen-Haise (ET _o _{JH}).....	69

1. INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso essencial na produção de alimentos e deve garantir a segurança e soberania alimentar dos povos. Mas, considerando a situação atual, o crescimento da população e ampliação da demanda, estima-se um progressivo decréscimo no volume de água disponível para o uso agrícola no futuro. Torna-se relevante a otimização do uso da água na agricultura, em função do requerimento hídrico das culturas, para garantir sua produtividade competitiva e sustentável ao longo do tempo.

Na otimização do uso da água na agricultura, precisa-se adotar e implementar um conjunto de estratégias conservacionistas. A utilização ou geração de tecnologias que envolvam aspectos sociais, econômicos e ambientais, que busquem formas de manejo, que possibilitem a conservação dos recursos naturais, e ao mesmo tempo promovam a sustentabilidade na agricultura, vem sendo recomendado (FRANÇOIS, 2012; SOUZA et al., 2012). Assim, as práticas agrícolas na agricultura irrigada assumem importância no aperfeiçoamento e/ou na melhora da eficiência do uso dos recursos hídricos (MEDEIROS, 2002; FRANÇOIS, 2012), para manter no tempo a quantidade e qualidade suficientes deste recurso, satisfazer as demandas da produção de alimentos e de outros setores socioeconômicos (MANTOVANI, 2004).

Em muitas regiões do Brasil, há produção somente durante o período de chuvas. No entanto, a irrigação, juntamente com outros fatores de produção, são alternativas viáveis, para redução do déficit hídrico, garantindo um adequado crescimento e desenvolvimento das culturas, alcançando boas produtividades (MOUSINHO, 2005). Na agricultura irrigada, o planejamento de uma irrigação eficiente, está em função do volume de água disponível e o requerimento hídrico das culturas para os estádios fenológicos durante o ciclo de vida. O conhecimento do consumo hídrico das culturas é de grande importância, porque permite manejar os níveis adequados de água no solo, por meio da irrigação (BERGAMASCHI et al., 2004; MENDES et al., 2013; SANTOS et al., 2013), reduzindo riscos e custos da produção, especialmente em regiões ou épocas em que há limitações hídricas (BERGAMASCHI et al., 2004). O requerimento hídrico de uma cultura, varia de maneira dinâmica, devido à interdependência de sua fenologia, e com outros fatores, entre eles, o solo e o clima, em um determinado tempo-espaço específico. A água disponível no solo varia em relação da precipitação, evapotranspiração (WAGNER et al., 2013), e do aproveitamento das culturas em seus diferentes estádios fenológicos (SOUZA et al., 2011).

Para um completo entendimento da disponibilidade hídrica, deve-se conhecer a água armazenada no solo, a precipitação e a evapotranspiração ocorrida, além de informações da cultura que se está trabalhando.

A evapotranspiração da cultura (ETc) expressa o consumo de água pela cultura, em quanto a evapotranspiração de referência (ETo) trata do consumo de água de uma cultura que se toma como referência para quaisquer outras culturas. A razão entre ETc e ETo expressa o coeficiente da cultura (Kc), que varia conforme a cultura e permite um melhor entendimento do uso da água (MENDONÇA et al., 2007). O Kc varia também ao longo do estágio de desenvolvimento da cultura, do sistema de irrigação, da densidade de plantio e das condições atmosféricas dominantes (MATZENAUER et al., 1998). A determinação do Kc, normalmente se faz por lisimetria, que é muito empregada no Brasil (MEDEIROS et al., 2004; SANTOS et al., 2008), embora feita em caráter experimental. Para estimativa da ETo, podem ser utilizados a lisimetria (balanço hídrico) ou seu valor pode ser estimado por vários métodos (BARROS et al., 2009; CAVALCANTE JR et al., 2011; PILAU et al., 2012). Os lisímetros mais empregados são os de drenagem, o de lençol freático constante e o de pesagem (PEREIRA et al., 2002).

A modificação de Kc das culturas com a finalidade de otimizar o uso da água é possível, mediante a utilização de cobertura morta no solo. A evapotranspiração das culturas é maior em climas com alta temperatura e forte incidência de ventos, como é no estado de Roraima, assim a cobertura morta do solo durante o crescimento e desenvolvimento das culturas, influencia na diminuição da evaporação do solo, significando aumento da eficiência no uso da água, e diminuição da frequência de rega e custo de aplicação da irrigação.

Nesse contexto, objetivou-se com o presente trabalho determinar a evapotranspiração (ETc) e o coeficiente de cultivo (Kc) para as culturas de milho e feijão-caupi em seus diferentes estágios de desenvolvimento, na 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 (ETo).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o), EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ET_c) E COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c)

Conhecer a evapotranspiração (ET) de uma planta e a disponibilidade de água no solo são fatores primordiais para determinar a necessidade de irrigação. A ET representa os processos conjuntos de evaporação e de transpiração que ocorrem naturalmente em uma superfície vegetada (PEREIRA et al., 2002), fornecendo informações relativa à quantidade de água consumida pelas plantas (OLIVEIRA et al., 2013). Assim a estimativa da evapotranspiração de uma cultura (ET_c), permite quantificar a quantidade de água que é consumida ou que é requerida em ocorrência de déficit hídrico. O estudo da ET_c é de fundamental importância para maximizar a produtividade e otimizar o uso da água e outros recursos (SOUZA et al., 2005).

Para determinar a ET_c também é necessário obter a ET_o, que depende das condições climáticas locais e das características morfofisiológicas da cultura, representadas por meio do K_c, que incorpora características da planta e efeitos da evaporação do solo, variando ao longo do ciclo em função da taxa de crescimento (ALLEN et al., 1998).

A ET_o define-se como a transferência de água à atmosfera, de uma extensa superfície de solo, coberta totalmente com vegetação rasteira, de crescimento ativo, altura uniforme (8 a 15 cm), e sem restrições hídricas em nutricionais. A estimativa da ET_o, depende do clima, que expressa o poder de evaporação de um local num tempo específico, sem considerar aspectos da cultura e do solo (ALLEN et al., 1998).

O K_c é uma relação empírica entre a ET_c e a ET_o, que relata o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular (DOORENBOS; PRUITT, 1977; LIMA et al., 2008). A determinação dos valores do coeficiente de cultivo (K_c) de uma cultura, em seus diferentes estádios de desenvolvimento, é fundamental para conhecer suas necessidade hídricas (ALLEN et al., 1998; MENDONÇA et al., 2007; BASTOS et al., 2008), pois representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a ET_o: (I) a altura da cultura que afeta a rugosidade e a resistência aerodinâmica; (II) a resistência de superfície relativa na relação solo-planta, que é afetado pela área foliar, pela fração de cobertura do solo com vegetação, pela idade e condições das folhas, e pela umidade do solo; (III) e pelo albedo da superfície da cultura-solo, que é influenciado pela fração de cobertura do solo, pela vegetação e pelo teor de água na superfície do solo, que influencia o saldo de radiação disponível à superfície (DOORENBOS; PRUITT, 1977).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) recomenda valores de Kc para um amplo elenco de culturas anuais e perenes, e tem ampla aceitação mundial, sendo a melhor alternativa quando valores locais não estejam ainda disponíveis, estes valores encontra-se nos manuais 24 (DOORENBOS; PRUITT, 1977) e 56 (ALLEN et al., 1998) da referida agência. A determinação dos valores do coeficiente de cultivo (Kc) de uma cultura, em seus diferentes estádios de desenvolvimento, é fundamental para conhecer suas necessidade hídricas (ALLEN et al., 1998; MENDONÇA et al., 2007; BASTOS et al., 2008).

2.1.1. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

A estimativa da ET_o tem sido tema de vários estudos, onde foram criadas várias metodologias para tentar obter resultados precisos e confiáveis (ALLEN et al., 1998; CAVALCANTE JR et al., 2011). Para obtenção da ET_o utiliza-se métodos diretos de estimativa no campo ou indireto através de equações empíricas a partir de informações climáticas locais (BARROS et al., 2009; CAVALCANTE JR et al., 2011). As estimativas diretas muitas vezes requerem a utilização de equipamentos sofisticados e caros o que no geral inviabiliza sua utilização. Por isso, a maioria dos métodos de estimativa da ET_o utilizam equações empíricas, por serem mais práticas e viáveis (CAVALCANTE JR et al., 2011).

A FAO propôs um método padrão que se adaptasse a diferentes localidades e climas do mundo, indicando o método Penman-Monteith FAO-56 (ALLEN et al., 2006). Este método utiliza uma equação empírica que concilia os aspectos aerodinâmicos e termodinâmicos, incluindo a resistência ao transporte de calor sensível, a resistência da superfície à transferência de vapor de água, fatores que nenhum outro método leva em consideração, por isso proporciona melhor precisão na estimativa da ET_o (OLIVEIRA, 2003). Segundo Allen et al. (2007) é o melhor método a se utilizar para o cálculo da ET_o, quando se tem dados climáticos completos e assim poder estimar as necessidades de água para a irrigação.

Entretanto, não todas as estações meteorológicas dispõem satisfatoriamente das variáveis que o método Penman-Monteith FAO-56 requer. Esta falta de dados meteorológicos leva a busca e utilização de métodos mais simples na estimativa da ET_o, que exigem apenas alguns parâmetros climáticos (CUNHA et al., 2013). A seleção dos métodos alternativos a ser empregado depende das condições climáticas locais, disponibilidade de dados meteorológicos necessários, complexidade do método, agrupamento dos dados considerados e custos (CARVALHO et al., 2007). Torna-se relevante então avaliar e/ou calibrar previamente o

método às novas condições climáticas locais, antes de ser utilizado (SOUZA et al., 2011; CUNHA et al., 2013).

Existe vários métodos referenciados na literatura para estimar a ETo. Considerando só equações empíricas, e tomando como método padrão a Penman-Monteith FAO 56, Cunha et al. (2013) avaliaram o desempenho de 30 métodos para estimativa da ETo para Chapadão do Sul, MS, determinaram que os melhores métodos para essas condições foram: Penman-Original, Stephens-Stewart, Radiação-Temperatura, Turc, Hargreaves-Original, Penman-FAO 24, Thornthwaite, Abtew, Blaney-Criddle-FAO 24, McCloud, Radiação-FAO 24, Garcia-Lopez, Thornthwaite-Modificado, Radiação-Global, Hargreaves-Samani e Jensen-Haise.

O método empírico Jensen-Haise (1963), estima a ETo somente com a temperatura média do ar e a radiação solar global da superfície (PEREIRA et al., 2009; CAVALCANTE JR et al., 2011; SOUZA et al., 2011; CUNHA et al., 2013). Segundo Medeiros (2008), e Souza et al. (2011) é uma equação desenvolvida para regiões áridas e semi-áridas, onde a necessidade hídrica das planta é alta, daí o motivo de uma estimativa mais alta.

Em estudos realizados por Cavalcante Jr et al. (2011) em Mossoró, RN, avaliaram o desempenho de 15 métodos de estimativa da ETo, usando o método de Penman Monteith FAO 56 como padrão, em condições de baixa e elevada umidade relativa, determinaram que o método de Jensen-Haise tivera desempenho ótimo no período seco, e mediano no período úmido. Segundo Pereira et al. (2009), na Serra da Mantiqueira MG, avaliaram o desempenho de 10 métodos de estimativa, usando o método de Penman Monteith FAO 56 como padrão, determinaram que o método Jensen-Haise, tem desempenho muito bom no período seco, e ótimo no período chuvoso, sendo o mais indicado para estimativas em escala diária.

De acordo com Medeiros (2008) na região de Jaboticabal, SP, utilizando 12 lisímetros de drenagem e 10 equações empíricas na estimativa da ETo, determinara que o método Jensen-Haise proporcionara uma estimativa ruim em comparação ao método Penman Monteith FAO 56, superestimando em 41,2% e 41,3% para períodos quinzenais e mensais de estimativa da ETo, respectivamente. Já Souza et al. (2011), em Seropédica, RJ, utilizando como método padrão o método de lisímetro, determinaram o desempenho de 10 métodos de estimativa da ETo, onde o método Jensen-Haise apresentara desempenho inferior a 60% devido à influencia das condições de nebulosidade.

2.2. LISIMETRIA

Os lisímetros são caixas de determinado volume preenchidos com solo, localizados em campo, com superfície nua ou coberta por uma vegetação de interesse, estes podem ser usados

para determinar a ET_c ou somente na evaporação do solo (HOWELL et al., 1991). Os lisímetros nós permitem controlar e medir os componentes do balanço hídrico no sistema solo-planta-atmosfera, sob tratos culturais e condições climáticas locais específicas (FARIA et al., 2006).

Os lisímetros vêm sendo utilizados já mais de três séculos atrás, em estudos hidrológicos, para quantificar e qualificar a água do solo percolada; mas Thornthwaite et al. (1943) foram os primeiros pesquisadores a usar este equipamento para medidas da ET_c em condições de campo (GREBET; CUENCA, 1991). Na atualidade, os lisímetros são ferramentas extremamente importantes na agricultura, permite reproduzir as condições reais de campo, e estima-se as necessidades hídricas das culturas (SANTOS, 2012).

Basicamente os lisímetros estão divididos em duas categorias: os de pesagem e os de não pesagem. Lisímetros de pesagem determinam de maneira direta a ET pelo balanço de massa de água, ao contrário dos lisímetros não pesáveis, que a determinam indiretamente, pelo balanço de volume (SANTOS, 2012). Existem vários tipos e tamanhos de lisímetros, depende do projeto o requerimento específico do estudo e das condições de construção e de custos envolvidos (SILVA et al., 1999), por isso, o uso de lisímetros esta restrito geralmente a instituições de pesquisas, onde sua utilização é justificada, pela obtenção de medidas precisas e exatas que sirvam de referência na calibração dos métodos de estimativa da ET_o utilizados pelos irrigantes (PEREIRA, 1998). Os lisímetros de não pesagem mais utilizados, e de mais baixo custo são o de drenagem e de nível de lençol freático constante.

Os lisímetros quando estão bem instalados, preenchidos corretamente, onde as camadas do solo em seu interior, sejam semelhantes o máximo possível às camadas de solo da área exterior, possibilitam medidas precisas da ET (ALVES, 2013). Assim, as condições físico-químicas e hídricas do solo dentro e fora do lisímetro devem ser no máximo possível semelhantes; a cobertura vegetal dentro do lisímetro deve ser da mesma espécie, altura, idade e densidade da cobertura vegetal externa. Pelo que visualmente, a presença do lisímetro na área de estudo deve ser pouco perceptível (MELO, 2009). A determinação do consumo de água das culturas e do K_c , por meio da utilização de lisímetria vem sendo muito empregada no Brasil (MEDEIROS et al., 2004; CARVALHO et al., 2007; SANTOS et al., 2008).

2.3. COBERTURA MORTA NO SOLO

A adoção de sistemas de conservação de solo e água na produção agrícola nas últimas décadas estão aumentando. Um destes sistemas adotados é o uso de cobertura morta, pois têm características favoráveis no aumento da eficiência no uso da água. A cobertura morta no solo

é importante para a implantação e a continuidade de sistemas produtivos sustentáveis, pela eficiente reciclagem de nutrientes, além disso, protege o solo contra a erosão, reduz a infestação de plantas daninhas, a incidência de luz e amplitude térmica no solo entre o dia e a noite, melhorando no solo as condições hídricas, químicas, físicas, biológicas e produtivas (BORKERT et al., 2003; COSTA et al., 2007).

Em estudos realizados por Oliveira (2011) menciona que a cobertura morta aumenta a produtividade, reduz a evaporação e aumenta a transpiração das plantas, mas, para o mesmo nível de irrigação, a E_{Tc} será sempre menor nas parcelas com cobertura morta em relação ao solo descoberto, o que indica que nem toda a água economizada foi para a transpiração.

No que se refere à conservação de umidade do solo em cultivos irrigados, a cobertura morta vem sendo uma prática cultural que aumentam a eficiência do uso da água (SILVA, 2012). Os resíduos vegetais usados como cobertura morta contribuem para formar uma barreira mecânica ao fluxo de água do solo para a atmosfera (ALLEN et al., 1998). Outros benefícios desta prática é o eficiente controle de plantas daninhas e a oferta de nutrientes, principalmente o nitrogênio, que disponibiliza-se durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais (BORKERT et al., 2003; RESENDE et al., 2005).

Conforme os resultados de Silva (2012) que avaliou lâminas de irrigação, em solo com e sem cobertura morta, cultivando mamona BRS Energia, no vale de Pesqueira, PE, determinou o incremento na umidade do solo em função da presença de cobertura morta, de 23,8% e 26% nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, respectivamente, em relação à ausência da mesma. Também Peres et al. (2010), em condições edafoclimáticas de Araras, SP, estudaram a influência da cobertura morta (palha de cana-de-açúcar) nos valores da umidade volumétrica do solo. Os resultados determinaram que na camada de 0 a 20 cm houve redução dos valores da umidade volumétrica do solo de 10,3% e 22,3% por dia, na condição com palha e sem palha respectivamente. Também Resende et al. (2005), avaliaram os efeitos de diferentes tipos de cobertura morta de origem vegetal no solo, para a cultura de cenoura, cv Brasília, em Marília, SP, determinaram que a utilização da cobertura morta no solo é uma prática vantajosa na época de verão, pois reduziu a temperatura em até 3,5°C, aumentou a retenção de umidade do solo em até 2,3% em relação ao controle e melhorou o desenvolvimento das plantas de cenoura.

De acordo a Oliveira (2006), em Donato, RN, onde avaliou o comportamento das variáveis hidrológicas do balanço hídrico em condições plantio de direto de trigo e soja, com e sem cobertura morta (palha), em lisímetros de 1 m³, observou que a influência da cobertura reduziu o escoamento superficial, aumentou a drenagem e a umidade do solo, reduziu a

evaporação do solo, causando a redução da ETc obtendo médias de 3,2 mm dia⁻¹ e 3,7 mm dia⁻¹ em lisímetro com e sem palha respectivamente. Já Lyra et al. (2010), em condições de Arapiraca, AL, avaliaram a variação do conteúdo de água no solo em cultivo de milho BR 106, com e sem cobertura morta, determinaram que a ETc é influenciada pela cobertura morta, obtendo valores médios pelo ciclo da cultura de 2,9 e 1,9 mm dia⁻¹, sendo superior em 35% a ETc em solo sem cobertura, em relação ao solo com cobertura.

Em estudos feitos por Souza et al. (2014) que avaliaram a ETc e a eficiência do uso da água pela figueira ‘Roxo de Valinhos’ submetida à irrigação e cobertura morta no primeiro ciclo produtivo, nas condições edafoclimáticas de Botucatu, SP, determinaram que a ETc acumulados de 409,4 e 465,8 mm em 254 dias após o transplante e médias de 1,47 e 1,67 mm dia⁻¹, com cobertura (CC) e sem cobertura (SC), e os Kc's médios foram de 0,18; 0,44 e 0,50 para solo CC e 0,16; 0,43 e 0,49 para solo SC, entre os estádios 1 e 3, respectivamente.

A redução da evaporação da água e melhor estabilidade térmica no solo, que produz a cobertura morta, têm relação direta com sua permeabilidade, que por sua vez esta em função da grossura e tipo de resto vegetal utilizado. Assim mesmo o tempo do efeito barreira que produz a cobertura morta depende do material vegetal e as condições climáticas, que influenciam na velocidade de sua decomposição.

2.4. CULTURA DE FEIJÃO-CAUPI

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) é uma dicotiledônea que pertence à ordem Fabales, família Fabacea, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolinae (ONOFRE, 2008), está amplamente distribuída no mundo, principalmente, nas regiões tropicais, devido à semelhança das características edáficas e do clima dessas regiões (MOUSINHO, 2005).

As condições precipitação exigidas pela cultura para uma boa colheita, incluem um mínimo de precipitação de 300 mm bem distribuídas para não precisar da irrigação (CAMPOS et al., 2010; OLIVEIRA, 2013), podendo ser cultivado em quase todos os tipos de solos, em temperaturas que podem variar entre 18 a 34 °C (OLIVEIRA, 2013).

O feijão-caupi é considerado como componente essencial da dieta alimentar das populações, devido que apresenta importantes quantidades de fontes nutricionais (FRANÇOIS, 2012; OLIVEIRA, 2013), contém de 23 a 25% de proteínas, 62% de carboidratos, 2% de óleo, além de isso, apresenta todos os aminoácidos essenciais, vitaminas, minerais, e fibras dietéticas (ANDRADE JR et al., 2003). No Brasil, é uma das culturas mais importantes, sendo cultivado praticamente em todo o território nacional, em várias épocas do

ano, e esta adaptado a uma grande diversidade climática (DIDONET, 2005), concentra-se sua produção nas regiões Norte e Nordeste, e é um importante gerador de emprego e renda (CAMPOS, et al., 2010; OLIVEIRA, 2013), mas, apesar de sua importância socioeconômica, ainda é uma cultura típica de pequenas propriedades rurais, onde a produtividade média é muito baixa devido a pouca tecnologia utilizada pelos produtores (FRANÇOIS, 2012). Segundo Freire Filho et al. (2007), com a adoção de tecnologia compatível, como uso da irrigação, correção e adubação do solo, têm-se bons resultados em diversas regiões, alcançando rendimentos médios de produtividade superiores a 2.500 kg ha⁻¹. Nascimento et al. (2011), determinaram (nordeste, Piauí) em 20 genótipos, a produtividade com influencia de déficit hídrica, reduziu-se até em 60%, onde obtiveram rendimentos de 466 kg ha⁻¹, mas, os rendimentos sob irrigação plena alcanço 1.167 kg ha⁻¹ (150% superior). Já Oliveira (2013) avaliou a interação de níveis de água e densidade de plantas do feijão-caupi, na produtividade de grãos, entre outros parâmetros, no município de Teresina, Piauí. Obteve valores de produtividade de grãos máximo de 1.668,86 kg ha⁻¹ com uma lâmina de irrigação de 390,88 mm associada à densidade de 241.000 plantas ha⁻¹. Entretanto, em termos de rendimento médio no Brasil é de 366 kg ha⁻¹ (IBGE, 2009).

Na região Norte, a lavoura colhida do feijão no ano 2012 foi de 154.628 ha, com produções de 120.679 t, e rendimentos de 780 kg ha⁻¹ (IBGE, 2012), onde a produção de feijão-caupi corresponde a 37,6% (FREIRE FILHO, 2011). Em Roraima a área colhida do feijão no ano 2012 foi de 2.987 ha, produzindo 1.992 t, com rendimentos de 667 kg ha⁻¹ (IBGE, 2012).

2.4.1. Consumo hídrico do feijão-caupi

As variações de água no solo, causados por diversos fatores, produzem excesso ou déficit hídrico no feijão-caupi, limitando os rendimentos na produtividade, mas, o déficit pode ser suprido pela irrigação, em função do consumo hídrico, dependendo do estado de desenvolvimento da cultura. O consumo de água do feijão-caupi 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 (NÓBREGA et al., 2001).

Segundo Mousinho (2005), o feijão-caupi quando cultivado com um padrão de tecnologia para obtenção de altas produtividades, é uma planta bastante exigente em água. Para otimizar o uso da água na cultura é imprescindível conhecer as necessidades hídricas da cultura nos diferentes estádios fenológicos do seu ciclo, para proporcionar adequada quantidade de água, em épocas oportunas (MENDONÇA et al., 2007; SOUZA et al., 2011).

Os melhores rendimentos do feijão-caupi são obtidos quando o solo é mantido com um teor de água próximo à capacidade de campo (MOUSINHO et al., 2008), e a demanda mínima de água que exige a cultura, durante o ciclo vegetativo, para produzir uma boa colheita, é de 300 mm (CAMPOS et al., 2010; OLIVEIRA, 2013). Segundo Doorenbos; Kassam (2000), dependendo das condições edafoclimáticas locais, os requerimentos hídricos do feijão-caupi, para a obter os melhores rendimento, variam de 300 mm a 400 mm durante seu ciclo.

O feijão-caupi variedade BR-17 Gurgueia (Nordeste, Piauí), mostra que ET_c é de 288.5 mm para todo o ciclo da cultura, com produtividade de $(1.192,1 \text{ kg ha}^{-1})$ correspondente a um valor médio de 4.1 mm dia^{-1} (BASTOS et al., 2008). O consumo diário de água no estágio inicial de desenvolvimento do feijão-caupi raramente excede 3,0 mm (OLIVEIRA et al., 2013), no estágio de máximo consumo hídrico pode se elevar para 5,0 a 5,5 mm diários, ocorre no período de pleno crescimento, entre o florescimento e enchimento de vagens (BEZERRA, 2003).

Segundo Andrade et al. (1993), quando estimaram a ET_c e o K_c do feijão-caupi cultivado na época do ano de maior demanda hídrica, obtiveram valores de ET_c variando de 5 mm dia^{-1} (início do ciclo) a 9 mm dia^{-1} (pleno desenvolvimento vegetativo), com consumo médio de água de $6,3 \text{ mm dia}^{-1}$, sendo um consumo em todo seu ciclo de 380 mm. Estudos feitos por Oliveira (2013), com a finalidade de determinar estratégias de manejo de água em feijão-caupi irrigado, verificou que a época de maior consumo de água pela cultura ocorre no estágio reprodutivo, especificamente na floração e enchimento dos grãos.

No Nordeste, Estado do Ceará, estimativas mostram que devido às mudanças climáticas, para as próximas décadas, a demanda de água do feijão-caupi deverá ser maior, em termos médios de 7,5% a 12,8%, onde atualmente as necessidades hídricas totais de seu ciclo é de 422 mm (SARAIVA;SOUZA, 2012).

2.4.2. Coeficiente de cultivo (K_c) do feijão-caupi

As diferenças de K_c 's do feijão-caupi estão associadas à metodologia empregada para determinação da ET_c , às características distintas das cultivares e às diferentes condições edafoclimáticas dos locais (OLIVEIRA et al., 2013). No estado de Piauí, o feijão-caupi apresenta valores de K_c de 0,5 no estágio inicial, 0,5 a 0,8 no estágio de crescimento, 0,8 a 1,05 no estágio reprodutivo e de 1,05 a 0,75 no estágio final (ANDRADE JR et al., 2003). A variedade BR-17, apresenta valores de K_c de 0,8 no estágio inicial, 1,1 no estágio de crescimento, 1,1 a 1,4 no estágio reprodutivo e de 1,4 a 0,3 no estágio final (BASTOS et al.,

2008). A variedade BRS Guariba, apresenta valores de Kc de 0,45 no estágio inicial, 0,45 a 0,76 no estágio de crescimento, 0,76 a 1,13 no estágio reprodutivo, e de 1,13 a 0,48 no estágio final (OLIVEIRA et al., 2013).

Doorenbos; Kassam (2000) determinaram os valores de Kc de feijão-caupi de 0,4 no estágio inicial, a 0,8 no estágio de crescimento, 0,8 a 1,2 no estágio reprodutivo e de 1,2 a 0,7 no estágio final. No Ceará, Souza et al. (2005), trabalhando com feijão-caupi cv. Setentão, determinaram o Kc, por dois métodos de estimativa de ETo. Pelo tanque Classe A, os valores de Kc foram de 0,81, 1,36, e 0,77; enquanto pelo método Penman-Monteith, os Kc's foram de 0,78; 1,27 e 0,69, para os estádios de desenvolvimento vegetativo, floração e maturação, respectivamente. Já Saraiva; Souza (2012), quantificando o impacto do aumento da temperatura previsto pelo Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas, em previsões de aumento da temperatura anual de 3°C e 5°C, determinaram que os valores de Kc pelas duas previsões não variariam, sendo de 0,78; 0,83 a 1,00; 1,02 e 0,69 pelos estádios fenológicos inicial, crescimento, reprodutivo e final, mas a demanda hídrica do feijão-caupi, para as próximas décadas, deverá ser, em termos médios, de 7,5% a 12,8% maior.

2.5. CULTURA DE MILHO

O milho (*Zea mays* L.), pertence à família Poaceae, é considerado originário de América, com provável centro de origem o México, onde sua adaptação resulta do trabalho desenvolvido durante muitos anos pelos indígenas (ALVES, 2013), é um dos cereais mais amplamente cultivados e utilizados no mundo, deve-se a sua extensa gama de aplicações, principalmente na alimentação humana, ração animal e bicompostível (MELO et al., 2010; SANTOS, 2012). A cultura do milho é produzida em climas que variam desde a zona temperada até a tropical, durante os períodos em que as temperaturas médias são superiores a 15°C sem ocorrência de geadas (SOARES, 2010).

O milho é uma planta C4, muito eficiente na conversão de CO₂, com altas taxas de fotossíntese líquida, mesmo em elevados níveis de luz (ALVES, 2013). Sua elevada produtividade ocorre quando a máxima área foliar coincide com a maior disponibilidade de radiação solar, em condições hídricas adequadas. Estas condições permitem a máxima fotossíntese possível, porém aumenta a necessidade hídrica da cultura, já que o elevado fluxo energético incidente também eleva a evapotranspiração (SOARES, 2010). A cultura do milho apresenta ciclo vegetativo variável, dependendo dos genótipos, variando desde os mais tardios, onde o ciclo vital pode alcançar 300 dias após emergência (SOARES, 2010), até os

precoces e superprecoces com ciclos vegetativos entre 180 a 110 dias respectivamente (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

O ciclo da cultura de milho apresenta cinco etapas de desenvolvimento: (I) germinação e emergência: ocorre entre a semeadura e o aparecimento da plântula; (II) crescimento vegetativo: iniciado a partir da emissão da segunda folha, até o início do florescimento; (III) florescimento: ocorre entre o início da polinização e o início da frutificação; (IV) frutificação: compreendida entre a fecundação e o enchimento completo dos grãos; (V) maturidade: período compreendido entre o final da frutificação e o aparecimento da camada negra (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). A “camada negra” representa o rompimento do elo de ligação entre a planta mãe e o fruto, caracterizando o momento ideal para a colheita (SOARES, 2010).

No Brasil o cultivo do milho é muito expressivo, sendo produzido em praticamente todo o território (COSTA et al., 2008). A área de lavoura do milho no país no ano 2012 foi de 14.198.496 ha, com uma produção de 71.072.810 t, com rendimentos de 5.006 kg ha⁻¹, sendo na região Norte a lavoura colhida de 536.656 ha, com uma produção de 1.657.466 t, com rendimentos de 3.089 kg ha⁻¹, e no Estado de Roraima, a área foi de 5.900 ha com uma produção de 11.800 t, e rendimentos médios de 2.000 kg ha⁻¹ (IBGE, 2012).

Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho com 6% da oferta mundial sendo os maiores produtores Estados Unidos com 44%, e China com 21% (SANTOS, 2012). Apesar de estar entre os três maiores produtores, o Brasil não se destaca entre os países com maior nível de produtividade (SOARES, 2010). O milho produzido no Brasil apresenta grande importância socioeconômica, sendo utilizado na alimentação humana e animal, *in natura* e na indústria (SANTOS, 2012), é o principal macroingrediente para a produção de rações e devido à competitividade do mercado brasileiro de carnes, a produção do grão tem aumentado crescente (CALDARELLI; BACHI, 2012). O milho pode ser aproveitado praticamente em sua totalidade, a parte da utilização dos grãos, os restos da planta podem ser utilizados na incorporação ou como cobertura do solo, em silagem para a alimentação animal (ALVES, 2013).

2.5.1. Consumo hídrico do milho

Conhecer o consumo hídrico (evapotranspiração) de uma cultura durante seu ciclo é de grande importância para o dimensionamento e o manejo de projetos de irrigação, contribuindo para aumentar a produtividade e otimizar a utilização dos equipamentos de irrigação, da energia elétrica e dos recursos hídricos (SANTOS et al., 2013). O consumo hídrico do milho,

é acentuando nos estádios de iniciação floral, fecundação e enchimento de grãos (BERGAMASCHI et al., 2006; WAGNER et al., 2013), nestes estádios, o déficit hídrico, de 2 dias baixa o rendimento em mais de 20%, de 4 a 8 dias baixa o rendimento em mais de 50% (ALVES, 2013). Só a deficiência hídrica é responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção (SOARES, 2010).

O consumo de água do milho está em função da variedades e precocidade da cultura, e das condições edafoclimáticas, principalmente da temperatura e da velocidade do vento, que em combinação, são diretamente proporcional com a transpiração. As produções do milho nas regiões do Brasil, com boas produtividades, encontram-se em zonas cuja precipitação anual varia de 300 a 5.000 mm, sendo o consumo de água por uma planta durante o seu ciclo de 600 mm (ALVES, 2013). Souza et al. (2010) avaliaram o consumo hídrico do milho nas épocas de semeadura de 06/05, 19/05, 10/06 e 30/06, na região de Arapiraca, AL, determinou valores de 381,65, 386,6, 385,42 e 434,35 mm, respectivamente. Segundo Souza et al. (2012), que trabalharam com milho cultivar Eldorado no município de Seropédica, RJ, verificaram que o consumo total de água de foi 394,1mm, com valor médio de 3,46 mm dia⁻¹. Do mesmo modo Alves (2013), trabalhando com o milho variedade Potiguar, para as condições da Chapada do Apodi, RN, determinou um valor de ETc total de 480.81 mm, com valor médio de 4.85 mm dia⁻¹. Em condições de clima seco e quente, no período de iniciação floral à maturação, o consumo do milho pode atingir de 5 a 7 mm dia⁻¹, associando as maiores produtividades a consumos de 500 a 800 mm em todo o ciclo da cultura (EMBRAPA, 2010).

Para Matzenauer et al. (1983), o consumo hídrico de uma cultura, depende da densidade da população de plantas, o consumo de água do milho, em todo seu ciclo e uma mesma região, é de 650 mm em densidades de 67 mil plantas ha⁻¹ e de 577 mm em densidades de 50 mil plantas ha⁻¹. Almeida (2012), trabalhando no período de maio a agosto, na região de Mossoró-RN com o milho híbrido variedade AG-1051, determinou o consumo médio por estádio de desenvolvimento de 0,8; 3,1; 5,9 e 6,2 mm dia⁻¹ no lisímetros um, e 1,4; 3,2; 5,4 e 5,1 mm dia⁻¹ no lisímetros dois.

2.5.2. Coeficiente de cultivo (Kc) da cultura de milho

As diferentes condições ambientais das regiões do Brasil, práticas culturais de coberturas no solo, tipos de solo e práticas de manejo da irrigação afetam à ETc, refletindo nos valores de Kc para as culturas.

O ciclo de cultivo pode dividir-se em cinco estádios de desenvolvimento, distribuídos em três tipos de demanda hídrica: Kc inicial (estabelecimento da cultura, ao 10% do desenvolvimento vegetativo), Kc médio (pleno desenvolvimento da cultura, ao 70-80% de desenvolvimento vegetativo) e Kc final (período de maturação), onde permite a verificação das tendências de evolução dos Kc's (ALLEN et al., 1998).

De acordo com Souza et al. (2012) onde avaliaram a ETc e Kc do milho variedade Eldorado, em sistema de monocultivo e consorciado com mucuna-cinza, no município de Seropédica, RJ. O ciclo da cultura no monocultivo foi de 115 dias, com consumo total de água de 394 mm, com valores de Kc para os estádios I-(0,60 a 0,65); II-(0,80 a 0,90); III-(1,00 a 1,20) e IV-(0,52 a 0,70). Em estudos realizados também por Ferreira et al. (2007) que conduziram um experimento em Teresina, PI, para determinar o Kc do milho em sistema de monocultivo e consorciado com o feijão-caupi, obtiveram Kc's médios para o milho em sistema de monocultivo de 0,88 no estágio de semeadura-pendoamento 1,18 no estágio pendoamento-espigamento e 1,01 no estágio espigamento-maturidade fisiológica.

Conforme os resultados obtidos por Souza et al. (2008), em um experimento com o cultivar de milho catingueiro, sob irrigação por gotejamento, em Petrolina, PE, utilizaram três métodos de determinação de Kc: balanço hídrico no solo, equação proposta pela FAO e um modelo de ajuste da variável graus-dias aos valores de Kc, mostraram que não houve diferença entre os métodos analisados, e os valores de Kc obtidos foram nos estádios I-(0,86); II-(1,23); III-(0,97) e IV-(0,52).

Segundo Santos et al. (2013) que conduziram um experimento com milho verde cultivado sob sistema de irrigação por gotejamento, no Município de Mossoró, RN, obtendo valores de Kc nos estádios I-(0,48 a 0,52); II-(0,61 a 0,75); III-(1,14 a 1,19) e IV-(1,08 a 1,17). Em estudos realizados pela FAO, no boletim 56 apresenta valores de Kc para o estágio intermediário de 1,20 e no estágio final de 0,60 para milho colhido com alto teor de umidade no grão e de 0,35 ao milho colhido após a secagem do grão (ALLEN et al., 1998).

2.6. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; WRIGHT, J. L.; PRUITT, W. O.; PEREIRA, L. S.; JENSEN, M. E. Water Requirements, In: HOFFMAN, J. H.; EVANS, R. G.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L.; ELLIOT, R. R. Design and operation of farm irrigation systems, St, Joseph: ASABE, p. 207-288, 2007.
- 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*. v. 131, n. 1, p. 14-23, 2005.
- 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).
- ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual**. 2012. 80f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012.
- ALVES, A. S. **Necessidades hídricas da cultura do milho sob irrigação suplementar nas condições edafoclimáticas da Chapada do Apodi**. 66 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2013.
- 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, 2000. p. 127-154. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 28).
- ANDRADE, F. N. **Avaliação e seleção de linhagens de tegumento e cotilédone verdes para o mercado de feijão-caupi verde**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.
- BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; FONSECA, D. F.; SILVA, L. D. B. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p.198-203, 2009.
- 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.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, A.; BERGONCI, I.; CLEUSA BIANCHI, M.; MÜLLER, G.; COMIRAN, F.; HECKLER, M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 39, n. 9, 2004.
- 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 Agrônômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 05-10, 2003.

- BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. D. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p.143-153, 2003.
- CALDARELLI, C. E.; BACCHI, M. R. P. Fatores de influência no preço do milho no Brasil. **Nova economia**, Belo Horizonte, v. 22, n. 1, p. 141-164, 2012.
- CAMPOS, C. SILVA, T. SILVA, R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v. 14, n. 4, p. 396 -404. 2010.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CRUZ, F. A.; SOUZA, A. P. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p.363-372, 2007.
- CAVALCANTE JUNIOR, 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.
- COSTA, C. T. F.; PEREIRA, L. G. R.; ANTOS, R. D.; NEVES, A. L. N.; ARAÚJO, G. G. L.; BARREIROS, D. C.; ARAGÃO, A. S. L. Produtividade e características agrônômicas de sete genótipos de milho na região do sub-médio do vale do São Francisco. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, V, Aracaju- SE, 2008.
- COSTA, D. M. A.; MELO, H. S.; FERREIRA, S. R. Eficiência da cobertura morta na retenção de umidade no solo. **Holos**, v. 23, p. 59-69, 2007.
- CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul - MS. **Engenharia na agricultura, Viçosa - MG**, v. 21 n. 2, p. 159-172, 2013.
- 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. Cap.1, p.9-37, 2005.
- 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).
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. p.21-53.
- FARIA, R. T. de; CAMPECHE, F. de S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 237-242, 2006.
- FERREIRA, V. M.; ANDRADE J ÚNIOR, A. S.; MASCHIO, R.; CARDOSO, M. J.; SILVA, C. R.; MORAIS, E. L. C. **Coefficientes de cultivo do milho em sistemas monocultivo e consorciado com feijão caupi**. XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia–Aracaju–SE, 02 a 05 de julho de 2007.

FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 115f. 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 Maio-Norte, p. 243-277. 2005.

FREIRE FILHO, F. R. Feijão-Caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Teresina: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Maio- Norte, 84 p., 2011.

GREBET, P.; CUENCA, R. History of lysimeter desing of environmental disturbances. New York: **American Society os Civil Engeneers**, p. 10 -18. 1991.

HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D.; JENSEN, M. E.; History os Lysimeter desing and use for evapotranspiration measuments. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements. New York: **American Society os Civil Engineers**, P. 1-19, 1991.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Culturas temporárias e permanentes. **Prod. agric. munic.**, Rio de Janeiro, v. 39, p.1-101, 2012.

LIMA, F. A. A. **Respostas fisiológicas de cultivares de feijão [Phaseolus vulgaris L. e Vigna unguiculata (L.) Walph.] submetidas à deficiência hídrica: uma alternativa para a agricultura familiar do semi-árido sergipano**. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)-Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2008.

LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JUNIOR, R. A. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga**, v. 15, p. 173-183, 2010.

MANTOVANI, E. C. Otimização do uso da água e energia utilizando o programa IRRIGAGESAI® Apostila do curso de manejo de irrigação realizado de 24 a 27 de agosto de 2004. Viçosa, MG. 2004.

MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S. L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Santa Maria, RS, v. 18, p. 1207-1214, 1983.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A. Evapotranspiração da cultura do milho. II-Relações com a evaporação do tanque classe “A”, com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global, em três épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 15-21, 1998.

MOUSINHO, F. E. P. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no Estado do Piauí**. 2005. 125 f. Dissertação (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Piracicaba, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

MEDEIROS, G. A. **Influência do manejo de um latossolo vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado**. 2002. 176 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 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**, 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 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento)- Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MELO, T. M.; WOTTRICH, I.; LOUZADA J. A. E HELFER, F. Avaliação do atendimento da demanda hídrica da cultura do milho através da subirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 4, p. 226-233, 2010.

MELO, T. K. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do melão gália irrigado com água de diferentes salinidades**. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2009.

MENDES, S.; DE ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RIBEIRO, J. L.; BARROS, M. A. Coeficientes de cultura do algodão herbáceo e do feijão-caupi em sistemas monocultivo e consorciado. DOI: 10.7127/rbai. v7n300015. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-Rbai**, v. 7, n. 3, p. 191-200, 2013.

MENDONÇA, J. C.; DE SOUSA, E. 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. **Rev. Bras.Eng. Agríc. Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.

MOUSINHO, F. E. P. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no Estado do Piauí**. 2005. 125 f. Dissertação (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2005.

MOUSINHO, F. E. P.; DE ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí-DOI: 10.4025/actasciagr. v30i1. 1165. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 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, PB, UAEA/UFPG. 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. Dissertação (Doutorado em Agronomia)-Universidade de São Paulo, Jaboticabal. 2003.

OLIVEIRA, F. M. D. **Fontes e doses de adubação orgânica no cultivo da mamoneira irrigada com e sem cobertura morta**. 2011. 92 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia

Agrícola)- Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande-PB. 2011.

OLIVEIRA, N. T. D. **Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros**. 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2006.

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** v.7, n. 3, p. 191 - 200, 2013.

PEREIRA, A. L.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR A. E. Efeitos de níveis de cobertura do solo sobre o manejo da irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, Botucatu, v.7, n. 1, p.42-52. 2002.

PEREIRA, D. R.; YANAGI, S. N. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; SILVA, L. A. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 39, n. 9, p. 2488-2493, 2009.

PEREIRA, F. A. C. **Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em relação a um lisímetro de pesagem**. Piracicaba, 1998. 87 f. Dissertação (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.1998.

PERES, J. G.; SOUZA, C. F.; LAVORENTI, N. A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.875-886, 2010.

PILAU, G.; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; RIGHI, Z. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 2. p. 283-290, 2012.

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**, v. 29, n. 1, p. 100-105, 2005.

SANTOS, F. X.; RODRIGUES, J. V.; MONTENEGRO, A. A. A.; MOURA, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no Semi-Árido Nordeste. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 115-124, 2008.

SANTOS, W. D. O; NUNES, R. L. C.; GALVÃO, D. D. C.; PEREIRA, V. D. C.; MANIÇOBA, R. M.; LIMA, J. G. A.; VIANA, P. C. Evapotranspiração da cultura do milho verde, análise estatística. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 1, p. 75-81, 2013.

SANTOS, W. O. **Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica do milho nas condições do semiárido brasileiro**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012.

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**, v .6, n. 1. p. 8-13, 2012.

SILVA, F. C.; FOLEGATTI, M. V.; MAGGIOTTO, S. R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 7, n. 1, p. 53-58, 1999.

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 - PE. 2012.

SOARES, F. C. **Análise de viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2010. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil. Santa Maria, 2010.

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-DOI: 10.5039/agraria.v7i1a802. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, 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**, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011.

SOUZA, A. P. D.; SILVA, A. C. D.; LEONEL, S.; SOUZA, M. E. D.; TANAKA, A. A. Evapotranspiração e eficiência do uso da água no primeiro ciclo produtivo da figueira 'Roxo de Valinhos' submetida a cobertura morta. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 4, p. 1127-1138. 2014.

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.

SOUZA, J. L.; MEDEIROS, R. P.; LYRA, G. B. ; FERREIRA JÚNIOR, R. A.; TEODORO, I.; BRITO, J. E. D. Evapotranspiração do milho em quatro épocas de semeadura, na região de Arapiraca, Alagoas. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia - CD-ROM, 2010, Belém. A Amazônia e o Clima Global. Belém: SBMET, 2010.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. S. da; BRANDÃO, E. O.; Determinação do coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L.) sob condições de semiárido brasileiro, 2008.

ONOFRE, A. V. C. **Diversidade genética e avaliação de genótipos de feijão-caupi contrastantes para resistência aos estresses bióticos e abióticos com marcadores SSR, DAF, e ISSR**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

THORNTHWAITE, C. W.; WILH, H. C.; Report of the comitee on transpiration and evaporation. **Geographycal Review**, v. 5, 1943

WAGNER, M. V.; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; SAITO, L. R.; LIMA, A. S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 170-179, 2013.

3. ARTIGO I - EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ET_c) E COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) DO FEIJÃO-CAUPI EM SOLO COM E SEM COBERTURA MORTA NO CERRADO DE RORAIMA

3.1. RESUMO

A determinação dos parâmetros hídricos de uma cultura, durante o ciclo de desenvolvimento, é fundamental para manutenção de sua produtividade, sem o desperdício de água. Objetivou-se com o presente trabalho determinar a evapotranspiração (ET_c) e o coeficiente de cultivo (K_c) do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) cv. Novaera, nas condições de solo com e sem cobertura morta, durante os diferentes estádios de desenvolvimento e a possível diferença de consumo entre os dois métodos de cultivo. O experimento foi conduzido no campus Cauamé da Universidade Federal de Roraima, em Boa Vista, RR, durante os meses de abril a julho de 2014. A evapotranspiração de cultivo (ET_c) foi obtida por meio de lisímetro de drenagem, enquanto a evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelos métodos de Penman-Monteith e Jensen-Haise. A ET_c do feijão-caupi para todo o ciclo da cultura, em condições de solo sem cobertura morta foi de 311,0 mm, com valores médios de 3,5 mm dia⁻¹, onde o estágio fenológico de maior demanda hídrica foi o reprodutivo atingindo valores de 5,4 mm dia⁻¹. A ET_c do feijão-caupi para todo o ciclo da cultura, em condições de solo com cobertura morta foi de 260,4 mm, com valores médios de 3,0 mm dia⁻¹, onde o estágio fenológico de maior demanda hídrica foi o reprodutivo atingindo valores de 4,9 mm dia⁻¹. Os K_c's pelos estádios de desenvolvimento, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III), e final (IV), pelo método de Penman-Monteith apresentou valores de 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, enquanto que com o uso do método Jensen-Haise os valores de K_c's foram 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.

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

3.2. ABSTRACT

The determination of water parameters of a crop during its development is essential to maintain the yield without was ting water. This study aimed to determine evapotranspiration (ETc) and the crop coefficient (Kc) 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, in Boa Vista, Roraima state. Evapotranspiration cultivation(ETc) was obtained by drainage lysimeter, while the evapotranspiration reference (ETo) was estimated by the Penman-Monteith and Jensen-Haise methods. The results determined that the water consume of cowpea in soil conditions with and without mulch were 311.0 and 260.4 mm, respectively. The Kc's the developmental stages, initial (I), growth (II), reproductive (III), and final (IV), the 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.

KEY WORDS: *Vigna unguiculata*. Optimization of water use. Water consumption

3.3. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) é considerado como uma das culturas anuais mais importantes no Brasil, sendo cultivado praticamente em todo o território nacional, em várias épocas do ano, e está adaptado a uma grande diversidade climática (DIDONET, 2005), concentra-se sua produção nas regiões Norte e Nordeste, e é um importante gerador de emprego e renda nestas regiões (CAMPOS, et al., 2010; OLIVEIRA, 2013). Entretanto, apesar de sua importância socioeconômica, ainda é uma cultura típica de pequenas propriedades rurais, com produtividades médias muito baixa devido à pouca tecnologia utilizada pelos produtores (FRANÇOIS, 2012).

Segundo Mousinho (2005), o feijão-caupi, quando cultivado com um padrão de tecnologia para obtenção de altas produtividades, é uma planta bastante exigente em água. Oliveira (2013) comenta que alternativas tecnológicas devem ser adotadas para possibilitar o aumento da eficiência do uso da água, reduzir os custos nos insumos agrícolas e elevar o rendimento dessa cultura. Para otimizar o uso da água na cultura do feijão-caupi, e obter boa produtividade, é imprescindível conhecer as necessidades hídricas da cultura nos diferentes estádios fenológicos do seu ciclo, para proporcionar uma adequada quantidade de água, em cada estágio da cultura (MENDONÇA et al., 2007; SOUZA et al., 2011).

Para proporcionar uma quantidade adequada de água numa cultura, é fundamental conhecer os valores da evapotranspiração (ETc) e do coeficiente de cultivo (Kc) em condições regionais, já que estes valores variam em função das condições climáticas locais, variedade e idade da cultura. Os valores da ETc e o Kc servem para se outorgar, dimensionar e manejar de maneira eficiente a irrigação de uma cultura (SILVA et al., 2006). Valores de Kc para o feijão-caupi podem ser encontrados na literatura, especialmente nas regiões do Brasil onde a cultura é mais plantada (CAMPOS et al., 2010; OLIVEIRA, 2013); na região Nordeste encontram-se recomendações de valores de Kc para a cultura no Piauí (JÚNIOR et al., 2003; BASTOS et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2013), e no Ceará (SARAIVA; SOUZA, 2012). Entretanto na região do Norte, no estado de Roraima não existe nenhuma valor estabelecido de Kc.

Saraiva; Souza (2012) estimaram um incremento de consumo de água de 7,5% a 12,8% do feijão-caupi pelas próximas décadas devido às mudanças climáticas. Nesta situação não só determinar o ETc e Kc é suficiente para otimizar o uso da água, é também necessário a procurar de tecnologias complementares que melhore a produtividade e ampliem benefícios

na conservação do solo, água e portanto do ambiente. E dentre estas técnicas a cobertura do solo é de fundamental importância no aumento da eficiência do uso da água.

Resende et al. (2004) mostraram que a cobertura morta vegetal pode reduzir a temperatura do solo em até 3,5°C e aumentar retenção de umidade do solo em até 2,3%, pela redução da evaporação do solo, o que facilita os processos biológicos e a vida no solo. Dessa forma, pode ser uma alternativa para minimizar o consumo de água pelas culturas sem alterar sua produtividade.

Diante do exposto objetivou-se com o presente trabalho determinar a evapotranspiração (ETc) e o coeficiente de cultivo (Kc) da cultura de 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 (ETo) e se há diferenças no consumo de água entre os dois cultivos utilizados.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos meses de abril a julho de 2014 em Boa Vista, Roraima, campus Cauamé, pertencente a Universidade Federal de Roraima, cujas coordenadas geográficas de referência são: 2° 52' 17" N de latitude, 60° 42' 46" W de longitude a 90 m de altitude.

Segundo Araujo et al. (2001), o clima da região é do tipo Aw, a temperatura média do ar e de 27,4 °C; a evaporação média anual é de 1.940,3 mm; a umidade relativa média e de 74% e a pluviosidade média anual é de 1.685,6 mm; com uma estação chuvosa, de abril a setembro, e outra seca, de outubro a março. Na tabela 1 apresenta-se os dados médios climáticos, durante o período experimental.

Tabela 1. Médias do saldo de radiação solar (Rn), somatória mensal da precipitação (Pp), vento (U₂), temperatura do ar (Temp) e umidade relativa do ar (UR). Boa Vista, RR, 2014

Mês	Rn (Wm ⁻²)	Pp (mm)	U ₂ (ms ⁻¹)	Temp (°C)	UR (%)
Abr	180,4	34,0	2,4	28,5	65,6
Mai	189,1	67,0	2,1	28,5	67,9
Jun	158,7	406,8	0,9	26,3	83,5
Jul	190,7	288,2	1,0	26,6	80,3
Média	179,7	796*	1,6	27,5	74,3

* somatória total da precipitação.

A área total do experimento foi de 160,05 m² (16,50 m x 9,70 m), onde foram instalados três lisímetros de drenagem, cuja rede de drenagem, foi composto de um cano de PVC de 32 mm de diâmetro, com prolongação de 7,0 m até um registro. Os lisímetros foram preenchidos no ordem de uma camada de 0,10 m de pedregulho, um geotecido de 5,5 mm, e finalmente com solo obedecendo aos perfis originais do solo do local. A área de cada lisímetro foi de 1,60 m², por 0,74 m de profundidade, com área total de 85,8 m² (16,50 m x 5,20 m), devido à ampla bordadura, para evitar a advecção de calor sensível nos lisímetros das áreas adjacentes.

O solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, textura média (Tabela 1). Antes do plantio foi realizada a calagem de acordo com a análise de solo e a necessidade da cultura. A adubação de plantio constituiu-se de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 102 kg ha⁻¹ de K₂O utilizou-se como fonte o superfosfato simples e o cloreto de potássio. O espaçamento utilizado foi 0,5 m entre linhas e 10 sementes por metro linear, seguindo as recomendações técnicas de Freire Filho et al. (2008) feitas 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.

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

Prof. (m)	pH em H ₂ O	P mg dm ⁻³	Ca	Mgcmol _c dm ⁻³	K	Al	Areia	Silte	Argila
0,0-0,20	4,21	3,88	0,41	0,12	0,01	2,45	64,9	13,1	22

Depois do semeio, o experimento foi dividido em duas áreas: área 1 - com lisímetros sem cobertura morta no solo (Figura 1a), com área total incluído bordadura de 28,6 m² (5,5 m x 5,2 m); e área 2- com dois lisímetros com cobertura morta no solo (Figura 1a) de 0,05 m de palha de milho cortado em fragmentos de 0,10 m de comprimento, com área total incluído bordadura de 57,2 m² (11,0 m x 5,2 m).

O sistema de irrigação implementado foi por aspersão convencional, com precipitação média de água de 9 mm h⁻¹. A frequência de rega foi a cada dois dias, de maneira que a umidade do solo ficasse entre capacidade de campo (28% - umidade em massa e limite de água disponível (17% - umidade em massa). A irrigação foi feita nas horas do dia de menor velocidade do vento, fins de tarde. Durante o estabelecimento da cultura, foi instalada uma linha de aspersores com espaçamento de 12 m, promovendo uma irrigação uniforme em toda a área do experimento. A colheita do feijão-caupi ocorreu 88 dias após o plantio (DAP), foram realizadas três colheitas, de forma manual, a partir de 27 de junho de 2014.

A estimativa da ETo, em mm dia⁻¹, foi determinada por dois métodos: o método de Penman-Monteith FAO (1990) e de Jensen-Haise (1963), cujos dados foram obtidos da Estação Meteorológica Automática, modelo *Imetos*, instalada a 500 m do experimento.

Na estimativa da ETo pelo método de Penman-Monteith FAO, utilizou-se a Eq. 1

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

em que: ETo^{PM}- evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); R_a- radiação no topo da atmosfera (MJ m⁻² dia⁻¹); G- fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); T- temperatura do ar a 2m de altura (°C); U₂ -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 (kPa °C⁻¹); γ- Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

Na estimativa da ETo pelo método de Jensen-Haise, utilizou-se a eq. 2

$$ET_{o_{JH}} = R_G * (0,0252 * T_{med} + 0,078) \quad (2)$$

em que: $ET_{o_{JH}}$ - evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); R_G - radiação no topo da atmosfera (MJ m⁻² dia⁻¹); T_{med} - temperatura média (°C).

A Estimativa da ETc foi determinada a partir do balanço hídrico, que tem seu fundamento na lei da conservação das massas, segundo a equação (eq. 3) apresentada por Reichardt (1985).

$$P + I - D - ETc = \pm \Delta h \quad (3)$$

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

Na determinação dos componentes do balanço hídrico, as lâminas de água da irrigação foram definidas em função da variação da armazenagem da água no solo (Δh) em base à porcentagem da umidade no solo (US). Quando ocorria precipitação natural, a irrigação foi complementar em alguns casos ou suspensa em função da quantidade precipitada. O tempo de irrigação foi definido em função da intensidade de aplicação dos aspersores e da umidade do solo nos lisímetros. A água drenada nos postos de registro de cada lisímetro era coletada em baldes de 20 L, sendo medida em litros e logo convertidos em mm.

A variação da armazenagem da água no solo (Δh) foi determinada pela equação abaixo (eq. 4). 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 de 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.

Os valores da Δh foram determinados pela eq. 4.

$$\Delta h = (\theta_2 - \theta_1)Z \quad (4)$$

em que: θ_2 - a umidade média no solo em massa no dia da irrigação (g.g⁻¹); θ_1 - a umidade média no solo em massa no antes da irrigação (g.g⁻¹); Z - profundidade adotada no balanço (mm).

A estimativa do K_c , foi determinado 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 (eq. 5) apresentada por Doorenbos; Pruitt (1977):

$$K_c = ET_c/ET_o \quad (5)$$

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

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. Observe-se na Figura 1 imagens dos subperíodos de desenvolvimento que passo a cultura.

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

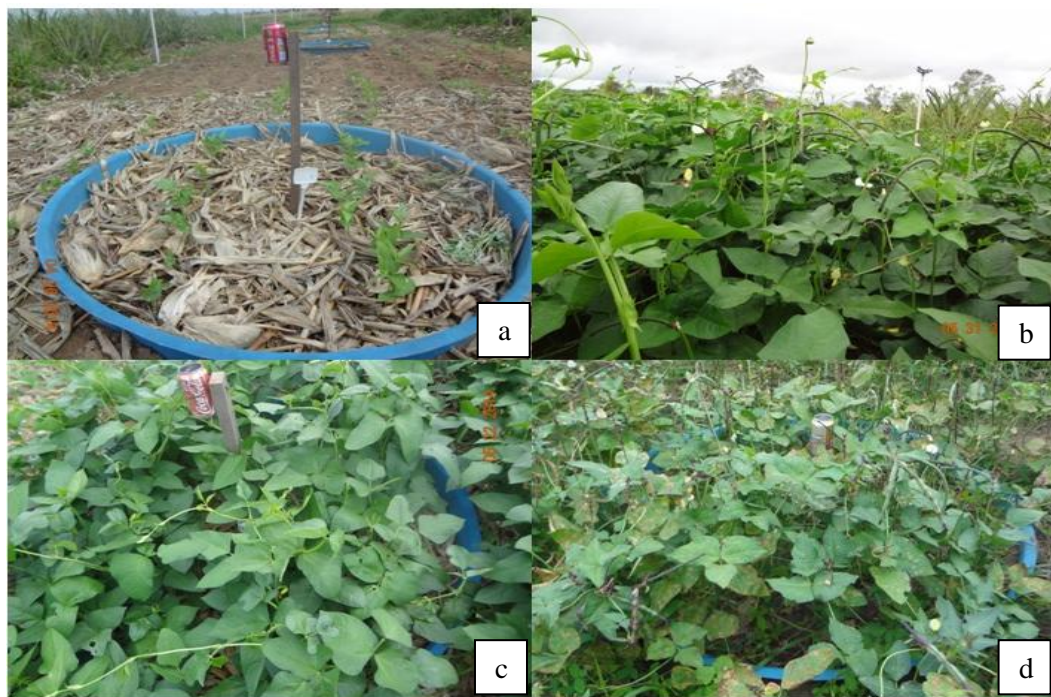


Figura 1. Lisímetros de drenagem com a cultura do feijão-caupi cv. Novaera nos estádios: a) inicial (10% de cobertura do solo); b) reprodutivo (início da maturação); c) crescimento (70% de cobertura); d) final (enchido de vagens). Boa Vista-RR, 2014

3.5. RESULTADO E DISCUSSÕES

Durante o período experimental, as condições climáticas (Tabela 1) não foram fatores limitantes ao desenvolvimento do feijão-caupi. Corrobora-se com pesquisas que mencionam que o feijão-caupi tem plasticidade de adaptação às condições tropicais e subtropicais, produzindo bem numa ampla faixa de ambientes em todas as regiões do País, com destaque nas regiões Nordeste e Norte (DIDONET, 2005; CAMPOS et al., 2010), cultivado em várias épocas do ano (DIDONET, 2005), em quase todos os tipos de solos, com exigências mínimas de precipitação de 300 mm, em faixa de temperatura médias diárias de 18 a 34°C (OLIVEIRA, 2013), de 20 a 33°C (BASTOS, et al., 2008), e de 20 a 30°C (MOUSINHO, 2005).

A produtividade do feijão-caupi obtida foi de 1.020,9 kg ha⁻¹ e 1.016,8 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 1.167 kg ha⁻¹, e Oliveira (2013) obtivera 1.668,8 kg ha⁻¹ numa densidade de 241.000 plantas ha⁻¹. Segundo Freire Filho et al. (2007), o feijão-caupi com a adoção de tecnologia, como irrigação, correção e adubação do solo, obtêm-se rendimentos médios de 2.500 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).

3.5.1. Evapotranspiração de referência (ET_o)

Ao longo do ciclo do feijão-caupi, as estimativas dos valores de ET_o (Figura 2 e Tabela 3) foram obtidos pelos métodos de Penman-Monteith e de Jensen-Haise. Os valores médios da ET_o apresentados na Figura 2, variou entre 1,7 e 6,6 mm dia⁻¹, estimado pelo método de Penman-Monteith, e entre 2,0 e 6,9 mm dia⁻¹ estimado pelo método de Jensen-Haise, 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.

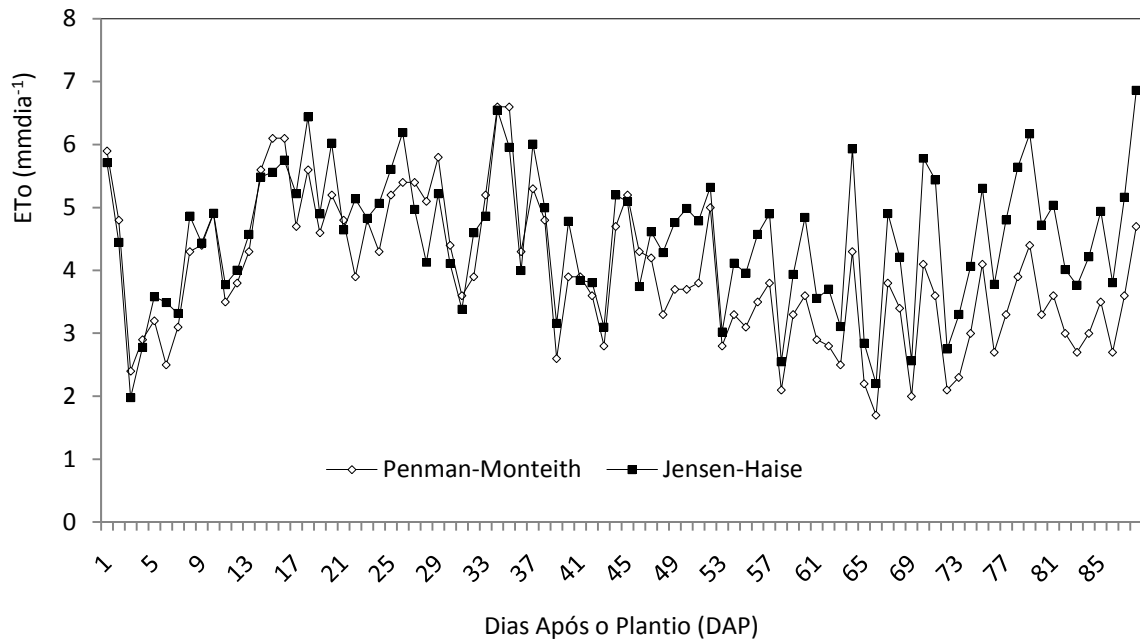


Figura 2. Valores médios da ETo pelos métodos de Penman-Monteith e Jensen-Haise. Boa Vista-RR, 2014.

Na estimativa da ET_o^{PM} , o método de Penman-Monteith FAO-56, 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 adapta-se a diferentes localidades e climas do mundo (ALLEN et al., 2005). O método empírico Jensen-Haise (1963) estima a ET_{oJH} somente com a temperatura média do ar e a radiação solar global da superfície (CAVALCANTE JR et al., 2011; SOUZA et al., 2011).

Os valores acumulados de ET_{oJH} 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 numa média de evapotranspiração de $4,5 \text{ mm dia}^{-1}$. 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 $3,9 \text{ mm dia}^{-1}$ (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 (ET_{OPM}) e Jensen-Haise (ET_{OJH}). Boa Vista-RR, 2014

Parâmetros		Estádios fenológicos				Total
		I	II	III	IV*	
Duração	(dias)	16	28	25	19	88
ET_{OPM}	(mm)	67,8	131,0	82,3	65,6	346,7
	(mm dia ⁻¹)	4,2	4,7	3,3	3,5	3,9
ET_{OJH}	(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 ET_{OPM} e ET_{OJH} durante o ciclo da cultura foram de 346,7 e 397,4 mm, onde o valor acumulativo da ET_{OJH} superestima em 14,6% ao valor acumulativo da ET_{OPM} , 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 Jr 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 (MEDEIROS, 2008; SOUZA et al., 2011).

3.5.2. Evapotranspiração da cultura (ETc).

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. Bastos et al. (2008) determinaram 15, 25, 17, e 15 dias e Mousinho (2005) determinaram 20, 25, 15 e 10 dias correspondendo a ciclos de 70 dias, para os mesmos estádios mencionados acima. Outros pesquisadores determinaram ciclos para o feijão-caupi de 85 dias (LIMA et al., 2005), 70 dias (MOUSINHO, et al., 2008), 64 dias (OLIVEIRA et al., 2013), e 69 dias (SOUZA et al., 2005). Esta variabilidade no ciclo da cultura deve-se aos diferentes cultivares e à influência dos elementos climáticos nas diferentes regiões, especialmente os valores de temperatura do ar.

Os valores da ETc de feijão-caupi para diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, em solo sem cobertura morta ($ET_{c_{sc}}$) e em solo com cobertura morta ($ET_{c_{cc}}$) estão apresentados nas Figuras 3 e 4 e na Tabela 4, apresentaram um comportamento similar ao longo do desenvolvimento da cultura, entretanto os valores da $ET_{c_{sc}}$ são em sua maioria mais altos aos da $ET_{c_{cc}}$ (Figura 3). Estes resultados mostram que a cobertura morta no solo (Figura

1) influenciou no consumo de água pela cultura no estágio inicial de desenvolvimento e ao longo do ciclo, reduzindo esses valores.

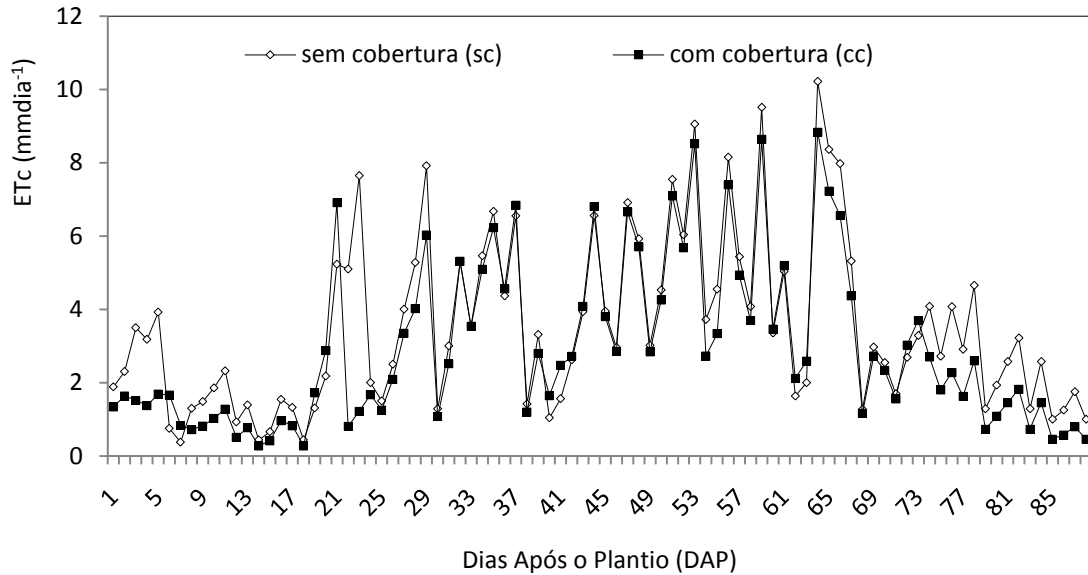


Figura 3. Valores médios da evapotranspiração da cultura de feijão-caupi em solo com cobertura (ETc_{cc}) e sem cobertura (ETc_{sc}), Boa Vista-RR, 2014.

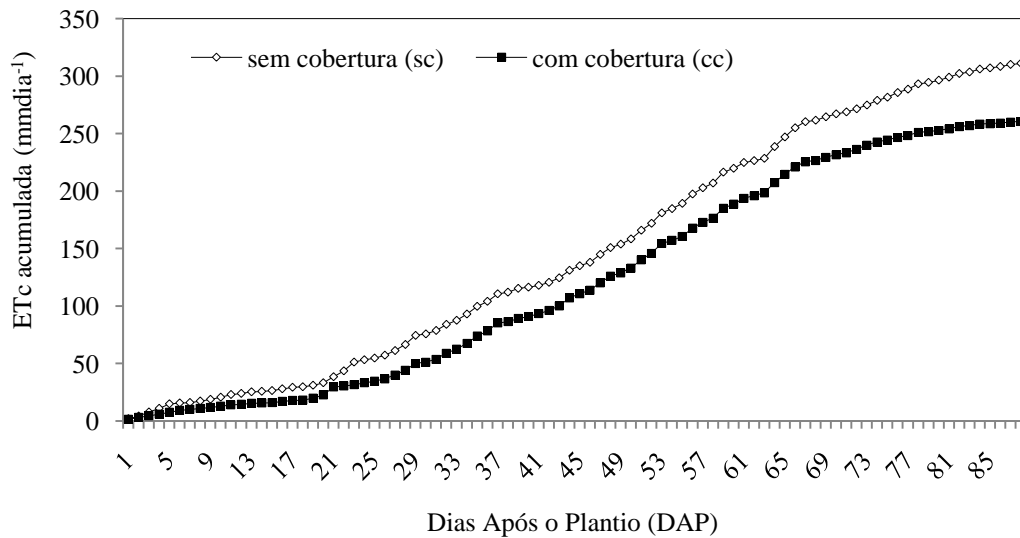


Figura 4. ETc acumulada da cultura do feijão-caupi em solo sem cobertura morta (ETc_{sc}) e com cobertura morta (ETc_{cc}), em Boa Vista, RR, 2014.

Segundo Nóbrega et al. (2001), o consumo de água do feijão-caupi (ETc) 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. Corroboram os dados apresentados na Figura 3 e

Tabela 4 que mostram o comportamento, 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 I-27,9; II-103,1; III-129,6 e IV-50,5 mm, são superiores em 66,1%; 14,5%; 9,3% e 44,3% respectivamente com relação aos valores estimados nos mesmos estádios da ETc_{cc}, nos estádios I-16,8; II-90,0; III-118,6 e IV-35,0 mm. Para o ciclo da cultura, a ETc_{sc} foi de 311,0 mm e ETc_{cc} foi de 260,4 mm, sendo o valor da ETc_{sc} maior em 16,27% que o valor da ETc_{cc}. Estas diferenças das ETc's são atribuídas ao fato da cobertura morta atuar como barreira mecânica a evapotranspiração e isolante para atenuar as flutuações de temperatura na superfície do solo (ALLEN et al., 1998; BORKERT et al., 2003; COSTA et al., 2007), 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), constataram um consumo mínimo de água de 300 mm para obtenção de bons rendimentos. Para Doorenbos; Kassam (2000), o consumo de água depende das condições edafoclimáticas locais, variando de 300 mm a 400 mm durante seu ciclo. Andrade et al. (1993) estimaram um consumo de água para o ciclo da cultura de 380 mm. Enquanto 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 et al. (2005), determinaram que a ETc foi de 337,4 mm, para o cultivar no cv. Setentão. Todos esses trabalhos foram desenvolvido no nordeste brasileiro e as diferenças podem ser atribuídas principalmente ao manejo e as cultivares utilizadas nos experimentos.

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

Outros estudos feitos com a mesma cultura e em solo sem cobertura morta ($ET_{c_{sc}}$) 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 (2003) determinou 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 do ciclo da cultura de $4,1 \text{ mm dia}^{-1}$, Lima et al. (2005) determinaram uma média geral de $3,84 \text{ mm dia}^{-1}$, com valor máximo de $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$ e mínimo de $2,7 \text{ mm dia}^{-1}$. Observa-se, entretanto, que nesta mesma região, há valores mais altos de consumo hídrico diário do feijão-caupi devido a que os cultivos foram estabelecidos em época de maior demanda hídrica. Souza et al. (2005), no cv. Setentão, determinaram medias de consumo mínimo de $2,0 \text{ mm dia}^{-1}$ (I) e máximo $7,7 \text{ mm dia}^{-1}$ (III), sendo a média geral de $5,2 \text{ mm dia}^{-1}$, Saraiva; Souza (2012) determinaram média de consumo máximo de $7,10 \text{ mm dia}^{-1}$ (III), e média mínima de $4,74 \text{ mm dia}^{-1}$ (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 $6,3 \text{ mm dia}^{-1}$, este trabalho em particular foi realizado sob intensa demanda evaporativa. Também Guerra et al. (2003) na região centro oeste (Planaltina, DF), determinaram um consumo máximo do feijão-caupi de $7,3 \text{ mm dia}^{-1}$.

3.5.3. Coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-caupi

Os resultados das variações dos valores dos Kc's médios em solo com cobertura morta ($K_{c_{cc}}$) e sem cobertura morta ($K_{c_{sc}}$) para diferentes estádios de desenvolvimento do feijão-caupi apresenta-se na Tabela 5 e nas Figuras 5 e 8.

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

Estádios	Duração DiasPenman Monteith.....			Jensen-Haise.....			
		$K_{c_{sc}}$	DP	$K_{c_{cc}}$	DP	$K_{c_{sc}}$	DP	$K_{c_{cc}}$	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 (ET_o^{PM}) apresentados na Tabela 5, observa-se que o $K_{c_{sc}}$ médio nos estádios I-0,42; II-0,82; III-1,60 e IV-0,79 apresentam valores maiores com relação ao $K_{c_{cc}}$ médios nos estádios I-0,30; II-0,73; III-1,46 e IV-0,56; observa-se estas variações para o ciclo da cultura na Figura 5. Da mesma maneira para o método de estimativa de Jensen-Haise ($ET_{o_{JH}}$) o $K_{c_{sc}}$ médio por estágio I-0,38; II-0,76; III-1,31 e IV-0,61 apresentam valores maiores com relação ao $K_{c_{cc}}$ médios por estágio I-0,29; II-0,67; III-1,19 e IV-0,42; nota-se também estas variações para o ciclo da cultura (Figura 6), demonstrando a importância da cobertura morta na redução do consumo de água pela planta.

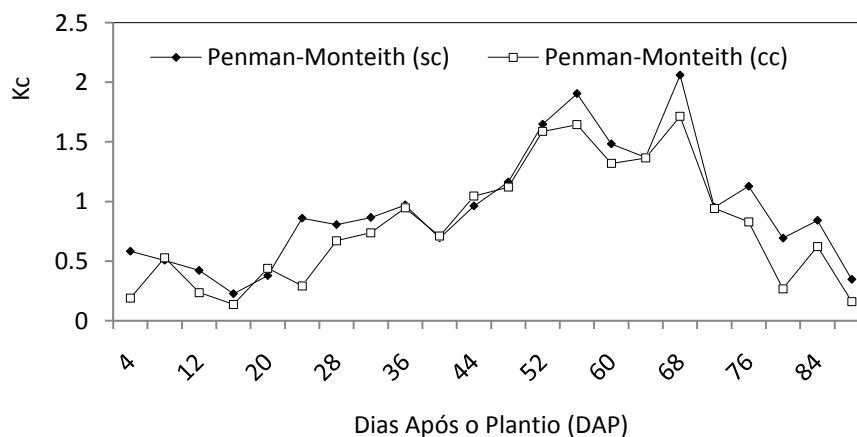


Figura 5. Variações dos $K_{c_{sc}}$ e $K_{c_{cc}}$ do feijão-caupi obtidos pela estimativa da ET_o pelo método Penman Monteith (ET_o^{PM}).

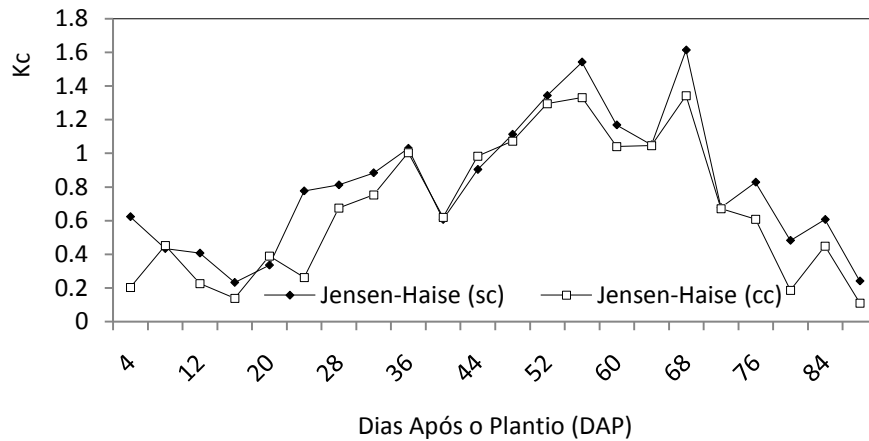


Figura 6. Variações dos Kc_{sc} e Kc_{cc} do feijão-caupi obtidos pela, estimativa da ETo pelo método Jensen-Haise (ET_{OHS}).

Contrastando o Kc_{sc} e tipos de métodos de estimativa (Tabela 5), no método Penman Monteith (ET_{O}^{PM}) observa-se que os Kc_{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 (ET_{OHS}), cujos Kc_{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 Kc_{cc} pelo método de estimativa de Penman Monteith (ET_{O}^{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 (ET_{OHS}), 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.

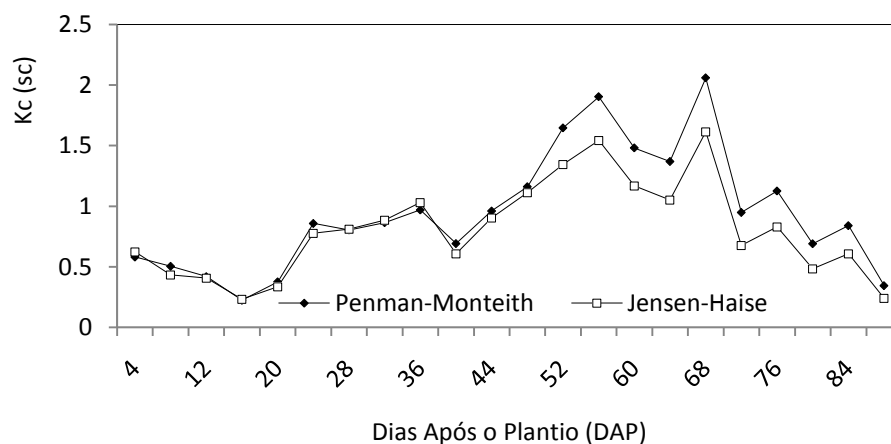


Figura 7. Variação do Kc_{sc} do feijão-caupi obtidos pelas estimativas das ETo pelos métodos Penman Monteith (ET_{O}^{PM}) e Jensen-Haise (ET_{OHS}).

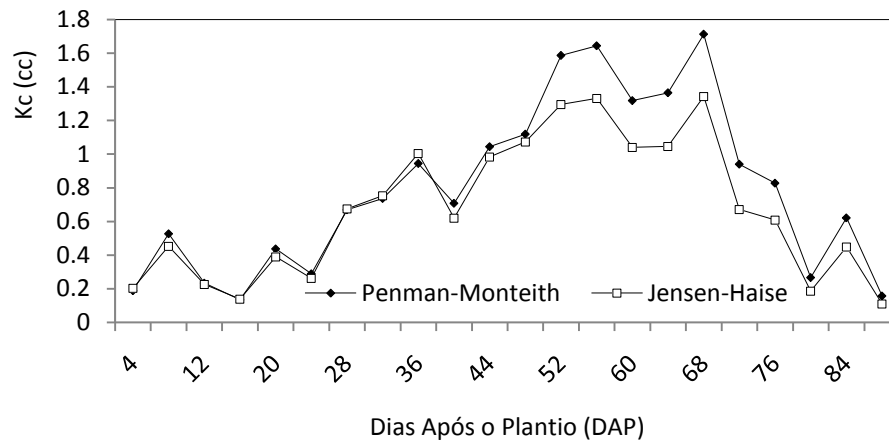


Figura 8. Variação do $K_{c_{cc}}$ do feijão-caupi obtidos pelas estimativas das E_{T0} pelos método Penman Monteith (E_{T0}^{PM}) e Jensen-Haise (E_{T0}^{HS}).

Pesquisas realizadas com diferentes cultivares e variedades de feijão-caupi constataram valores similares de K_c para o solo sem cobertura ($K_{c_{sc}}$). No estado do Piauí, Andrade Júnior et al. (2003) 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 na variedade BR-17- Gurguéia, apresentam valores de K_c segundo estágio 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 I- 0,45; II-0,76; III-1,13 e IV-0,48. Mousinho (2005) obtivera 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; 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 et al. (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.

3.6. CONCLUSÕES

O feijão-caupi cv. Novaera cultivado em solo com cobertura morta apresenta evapotranspiração (E_{Tc}) inferior 16,3%, em relação as mesmas condições de cultivo em solo descoberto.

Os valores do coeficiente de cultivo (K_c) do feijão-caupi variam entre o solo com cobertura e solo sem cobertura, variam também em função dos métodos Penman-Monteith e Jensen-Haise adotados para a estimativa da evapotranspiração de referencia (E_{To}).

Utilizando o método Penman Monteith (E_{To}^{PM}), o coeficiente de cultivo ($K_{c_{sc}}$) do feijão-caupi cv. Novaera em solo sem cobertura morta apresenta valores médios de 0,42; 0,82; 1,60 e 0,79 para os estágios fenológicos inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) e final (IV), respectivamente.

Os valores da E_{Tc} e K_c , determinados nas condições edafoclimáticas do estado de Roraima, podem ser utilizados na irrigação da cultura de feijão-caupi, para o cultivo convencional, e para o emprego do cultivo com cobertura morta sobre o solo.

3.7. 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**. 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, 2000. 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**, 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.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J.E.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. D. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.

CAMPOS, C.; SILVA, T.; SILVA, R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v. 14, n. 4, p. 396-404, 2010.

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.

COSTA, D. M. A.; MELO, H. S.; FERREIRA, S.R. Eficiência da cobertura morta na retenção de umidade no solo. **Holos**, v. 23, p. 59-69, 2007.

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. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análises 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.

GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C.; EVANGELISTA, W. Necessidade Hídrica no Cultivo de Feijão, Trigo, Milho e Arroz sob Irrigação no Bioma Cerrado. Embrapa. Planaltina, DF. p.1-15. 2003. (Boletim Técnico 100)

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Culturas temporárias e permanentes. **Prod. agric. munic.**, Rio de Janeiro, v. 39, p.1-101, 2012.

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**. v. 26, n. 2, p.86-92, 2005.

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. 241f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento)-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

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. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. D.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MOUSINHO, F. E. P. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no Estado do Piauí**. 2005. 125 f. Dissertação (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Piracicaba, Universidade de São Paulo. 2005.

MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. de S.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí-DOI: 10.4025/actasciagron.v30i1. 1165. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 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, PB, UAEA/UFMG. 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. 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** v.7, n. 3, p. 191 - 200, 2013.

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**, 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**, 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 - PE. 2012.

SILVA, V. DE P. R.; BELO FILHO, A. F.; SILVA, B. B. DA; CAMPOS; J. H. B. C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 547-553, 2005.

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-DOI: 10.5039/agraria. v7i1a802. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, 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**, 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.

THORNTHWAITE, C. W.; WILH, H. C.; Report of the comitee on transpiration and evaporation. **Geographycal Review**, v. 5, 1943.

4. ARTIGO II - EVAPOTRANSPIRAÇÃO (ET_c) E COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c) DE MILHO, EM SOLO COM E SEM COBERTURA MORTA NO CERRADO DE RORAIMA

4.1. RESUMO

Nas condições ambientais atuais, as atividades agrícolas devem buscar práticas para maximização da produtividade, visando à otimização de uso do recurso hídrico. Objetivou-se com o presente trabalho determinar a evapotranspiração (ET_c) e o coeficiente de cultivo (K_c) da cultura de milho, em solo com e sem cobertura, durante os diferentes estádios de desenvolvimento, utilizando lisímetros de drenagem e a possível diferença de consumo entre os dois métodos de cultivo. O experimento foi conduzido no campus Cauamé da Universidade Federal de Roraima, nos meses de abril a agosto de 2014, em Boa Vista, RR. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelos métodos de Penman-Monteith e Jensen-Haise. Os resultados da ET_c do milho, durante o ciclo da cultura, em solo sem e com cobertura foram de 421,5 e 351,0 mm, respectivamente. As médias diárias de ET_c foram de 4,1 mm dia⁻¹ para solo sem cobertura e 3,4 mm dia⁻¹ para solo com cobertura. A cobertura do solo propiciou valores diferentes de K_c's para o milho, nos mesmos estádios, em comparação aos K_c's do solo nu. Também os valores de K_c's variaram de acordo com o método adotado de ET_o. Para o solo nu, os K_c's observados para os estádios fenológicos I, II, III, e IV, foram de 0,40; 0,84; 1,59 e 0,81, respectivamente, pelo método de Penman-Monteith; enquanto, para os mesmos estádios fenológicos foram observados os valores de 0,38; 0,80; 1,19 e 0,58, pelo método Jensen-Haise. Já para solo coberto, os K_c's observados para os estádios fenológicos I, II, III, e IV, foram de 0,28; 0,64; 1,49 e 0,48, respectivamente, pelo método de Penman-Monteith; enquanto, para os mesmos estádios fenológicos foram observados os valores de 0,26; 0,61; 1,11 e 0,34, pelo método Jensen-Haise. Estes resultados mostram que a cobertura morta no solo influenciou no consumo hídrico do milho durante todo seu ciclo.

Palavras-chave: *Zea mays*. Eficiência do uso da água. Necessidade hídrica. Irrigação.

4.2. ABSTRACT

In the current environmental conditions, agricultural activities must seek practices to maximize productivity, aimed at resource usage optimization. The objective of this work was to determine the evapotranspiration (ET_c) and the crop coefficient (K_c) of the maize crop, in soil with and without cover, during the different stages of development, using drainage lysimeters. Also, the experiment aimed to know the water consumption between the maize cultivated in soil with and without cover. The experiment was conducted at the Cauamé campus of the Federal University of Roraima, in the months from April to August 2014, in Boa Vista, RR. The reference evapotranspiration (ET_c) was estimated by the Penman-Monteith and Jensen-Haise methods. The results of the maize ET_c, during the crop cycle, in soil with and without coverage were 421.5 and 351.0 mm, respectively. Average daily ET_c were 4.1 mm day⁻¹ for bare soil and 3.4 mm day⁻¹ for covered soil. The soil cover provided different values of K_c for corn, the same stage, compared to K_c for bare soil. Also K_c values varied according to the adopted method of ET_c. To the naked soil, K_c observed for the phenological stages I, II, III, and IV were 0.40; 0.84; 1.59 e 0.81, respectively, by the Penman-Monteith method. While, for the same phenological stages values of 0.38; 0.80; 1.19 and 0.58 were observed, by the Jensen-Haise method. As for covered soil, K_c observed for the phenological stages I, II, III, and IV were 0.28; 0.64; 1.49 and 0.48, respectively, by the Penman-Monteith method. While, for the same phenological stages values of 0.26; 0.61; 1.11 and 0.34 were observed, by Jensen-Haise method. These results show that soil mulching influences the water consumption of corn throughout the cycle.

Keywords: *Zea mays*. Water use efficiency. Water requirement. Irrigation.

4.3. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais amplamente cultivados e utilizados no mundo, devido a sua extensa aplicação, principalmente na alimentação humana, ração animal, bicomcombustível (MELO et al., 2010; SANTOS, 2012;), e na indústria de alta tecnologia, como a produção de filmes e embalagens biodegradáveis (MARTINS, 2013). A produtividade do milho, no entanto, depende de vários fatores referentes à dinâmica do sistema solo-planta-atmosfera, principalmente da disponibilidade hídrica no solo (MELO et al., 2010; WAGNER et al., 2013). Quando a disponibilidade hídrica no solo só depende das chuvas, estas produzem variabilidade na produtividade devido à ocorrência de déficits hídricos causados pelas variações na distribuição das chuvas (BERGAMASCHI et al., 2007).

A produtividade média do milho no Brasil é de 5.006 kg ha⁻¹, para a região Norte foi de 3.089 kg ha⁻¹ e para Roraima foi de 2.000 kg ha⁻¹ (IBGE, 2012). Esta baixa produtividade deve-se a problemas de manejo, especialmente na adubação e irrigação. A irrigação promove um fornecimento de água no momento e na medida desejada pela cultura, produzindo estabilidade na produtividade (BERGAMASCHI et al., 2004; BERGAMASCHI et al., 2006).

A água é um dos mais importantes fatores de produção e sua demanda está em pleno crescimento, pelo aumento do consumo no campo, nas cidades, e nas indústrias (MARTINS, 2013), além disso, alterações climáticas ocorrem e afetam a demanda por água (ALENCAR et al., 2011). Assim, conhecer e compreender as variações dos parâmetros hídricos de uma cultura durante seu ciclo é fundamental na irrigação, contribuindo para a manutenção hídrica, evitando o desperdício e otimizando o uso dos recursos hídricos e outros insumos (ALENCAR et al., 2011; SANTOS et al., 2013).

Os parâmetros hídricos utilizados na irrigação, são a evapotranspiração da cultura (ET_c), a evapotranspiração de referência (ET_o), e o coeficiente de cultivo (K_c), que variam nos estádio de desenvolvimento da cultura, sistema de irrigação, densidade de plantio e das condições atmosféricas dominantes (MATZENAUER et al., 1998; MENDONÇA et al., 2007). Conhecer estes parâmetros hídricos em condições locais, permite um melhor entendimento do uso da água na irrigação.

Assim objetivou-se com o presente trabalho determinar a ET_c e o K_c do milho híbrido BRS 1010, 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 referencia (ET_o).

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos meses de abril a agosto de 2014 em Boa Vista, Roraima, campus Cauamé, pertencente a Universidade Federal de Roraima, cujas coordenadas geográficas de referência são: 2° 52'17" N de latitude, 60° 42'46" W de longitude a 90 m de altitude.

Segundo Araujo et al. (2001), o clima da região é do tipo *Aw*, a temperatura média do ar é de 27,4 °C; a evaporação média anual é de 1.940,3 mm; a umidade relativa média é de 74% e a pluviosidade média anual é de 1.685,6 mm; com uma estação chuvosa, de abril a setembro, e outra seca, de outubro a março. Abaixo na (Tabela 1), apresenta-se os valores médios dos parâmetros climáticos obtidos durante os meses de experimentação.

Tabela 1. Médias do saldo de radiação solar, (Rn), somatória mensal da precipitação (Pp), vento (U₂), temperatura do ar (Temp) e umidade relativa do ar (UR). Boa Vista, RR, 2014

Mês	Rn (Wm ⁻²)	Pp (mm)	U ₂ (ms ⁻¹)	Temp (°C)	UR (%)
Abr	180,4	34,0	2,4	28,5	65,6
Mai	189,1	67,0	2,1	28,5	67,9
Jun	158,7	406,8	0,9	26,3	83,5
Jul	190,7	288,2	1,0	26,6	80,3
Ago	188,3	273,6	1,0	26,6	81,0
Média	181,4	1069,6*	1,5	27,3	75,7

* somatória total da precipitação

A área total do experimento foi de 140,94 m² (14,50 m x 9,72 m), onde foram instalados dois lisímetros de drenagem, cuja rede de drenagem, foi um cano de PVC de 32 mm de diâmetro, com prolongação de 7,0 m até um registro. Os lisímetros foram preenchidos no ordem de uma camada de 0,10 m de pedregulho, um geotecido de 5,5 mm, e finalmente a terra obedecendo aos perfis originais do solo do local. A área de cada lisímetro foi de 1,60 m², por 0,74 m de profundidade, fazendo uma área total de 75,69 m² (14,50 m x 5,22 m), devido à ampla bordadura, evitando a advecção de calor sensível e efeito oásis na área interna dos lisímetros.

O solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, textura média (Tabela 2). Antes do plantio foi realizada a calagem de acordo com a análise de solo e a necessidade da cultura. A adubação de plantio constituiu-se de 10 kg ha⁻¹ de N, 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, com duas adubações complementares de cobertura de 50 kg ha⁻¹ de N, à emissão da quarta e oitava folha, respectivamente. Utilizou-se como fonte a uréia, superfosfato simples e o cloreto de potássio.

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

Prof. (m)	pH em H ₂ O	P mg dm ⁻³	Cacmol _c dm ⁻³	Mg	K	Al	Areia	Silte	Argila
0,0-0,20	4,21	3,88	0,41	0,12	0,01	2,45	64,92	13,14	22,01

O espaçamento de semeio foi de 0,8 m entre linhas e 6 sementes por metro linear. As sementes do milho utilizadas foram o híbrido simples BRS 1010. Depois do semeio, o experimento foi dividido em duas áreas iguais de 37,85 m² (7,25 m x 5,2 m) cada, onde contendo um lisímetro e bordadura: área 1 com lisímetro sem cobertura morta no solo (Figura 1a), e área 2 com cobertura morta no solo (Figura 1a) de 0,05 m de espessura feitas com palhas secas de milho cortado em fragmentos de 0,10 m de comprimento.

Durante a condução do experimento, a área foi irrigada por um sistema de irrigação de aspersão convencional, com lâmina média de água de 9 mm h⁻¹. A frequência de rega foi cada dois dias, de maneira que a umidade do solo manteve-se entre capacidade de campo (28% - umidade em massa (US) e limite a água disponível (17% US). A irrigação foi feita nas horas do dia de menor velocidade do vento. Antes o estabelecimento da cultura, foi instalada uma linha de aspersores com espaçamento de 12 m, promovendo uma irrigação uniforme em toda a área do experimento.

A estimativa da ETo, em mm dia⁻¹, foi determinada por dois métodos: o método de Penman-Monteith FAO (1990) e o método de Jensen-Haise (1963), cujos dados foram fornecidos da Estação Meteorológica Automática, modelo *Imetos*, instalada a 500 m do experimento. Na estimativa da ETo pelo método de Penman-Monteith utilizou-se a Eq. 1

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

em que: ETo^{PM} - evapotranspiração de referencia (mm d⁻¹); R_a- radiação no topo da atmosfera (MJ m⁻² d⁻¹); G - fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹); T - temperatura do ar a 2m de altura (°C); U₂ - 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 (kPa °C⁻¹); γ - Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

Na estimativa da ETo pelo método de Jensen-Haise, utilizou-se a eq. 2

$$ETo_{JH} = R_G * (0,0252 * T_{med} + 0,078) \quad (2)$$

em que: ETo_{JH} - evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); R_G - radiação no topo da atmosfera (MJ m⁻² dia⁻¹); T - temperatura média (°C).

A estimativa da ET_c foi determinada a partir do balanço hídrico, que tem seu fundamento na lei da conservação das massas, seguindo a equação (eq. 3) apresentada por Reichardt (1985).

$$P + I - D - ET_c = \pm \Delta h \quad (3)$$

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).

Na determinação dos componentes do balanço hídrico, as lâminas de água da irrigação foram definidas em função da variação da armazenagem da água no solo (Δh) em base à porcentagem da umidade no solo (US). Quando ocorria precipitação natural, a irrigação foi complementar em alguns casos ou suspensa em função da quantidade precipitada. O tempo de irrigação foi definido em função da intensidade de precipitação geraram os aspersores e da umidade do solo nos lisímetros. A água drenada nos postos de registro de cada lisímetro era coletada em baldes de 20 L, sendo medida em litros e logo convertidos em mm.

A variação da armazenagem da água no solo (Δh) foi determinada pela equação abaixo. A umidade foi determinada antes e depois de cada irrigação pelo método gravimétrico, sendo posteriormente multiplicada pela densidade desse solo de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, utilizando a metodologia de Embrapa (1997). Onde as amostras de solo foram retiradas dentro dos lisímetros, antes e depois de cada irrigação, condicionadas, pesadas e levadas a estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 48 horas. Posteriormente, foram novamente pesadas e a diferença representou a umidade em massa da amostra.

Os valores da Δh foram determinados pela eq. 4.

$$\Delta h = (\theta_2 - \theta_1)Z \quad (4)$$

em que: θ_2 - a umidade média no solo em massa no dia da irrigação (g.g^{-1}); θ_1 - a umidade média no solo em massa no antes da irrigação (g.g^{-1}); Z - profundidade adotada no balanço (mm).

A estimativa do K_c , determinou-se utilizando a relação dos valores diários das ET_c e ET_o , calculando-se K_c 's pelos diferentes estádios fenológicos do milho, pela equação (eq. 6) apresentada por Doorenbos; Pruitt (1977):

$$K_c = E_{Tc}/E_{To} \quad (6)$$

em que: K_c - coeficiente de cultivo; E_{Tc} - evapotranspiração da cultura (mm); E_{To} - evapotranspiração de referência (mm).

Para determinar os valores de K_c do milho (*Zea mays* L.) híbrido BRS 1010, o ciclo da cultura foi dividido em quatro subperíodos de desenvolvimento conforme recomendado pela FAO, decididos por meio de observações em campo e acompanhamento do crescimento da cultura, considerando as seguintes fases: Inicial (I): do plantio até 10% de cobertura do solo (semeadura-emergência). Desenvolvimento (II): do final da fase inicial até 80% da cobertura do solo (pendoamento-florescimento). Intermediária (III): de 80% de cobertura do solo até o início da maturação dos grãos, (produção-enchimento dos grãos). Final (IV): do início da maturação até a colheita (maturação-colheita). Observa-se na Figura 1 imagens dos subperíodos que passa a cultura durante seu desenvolvimento.

A colheita do milho foi manual e ocorreu o dia 4 de agosto de 2014, logo determinou-se a produtividade para as áreas com e sem cobertura, quando os grãos do milho tiveram teor de umidade em torno de 13%.

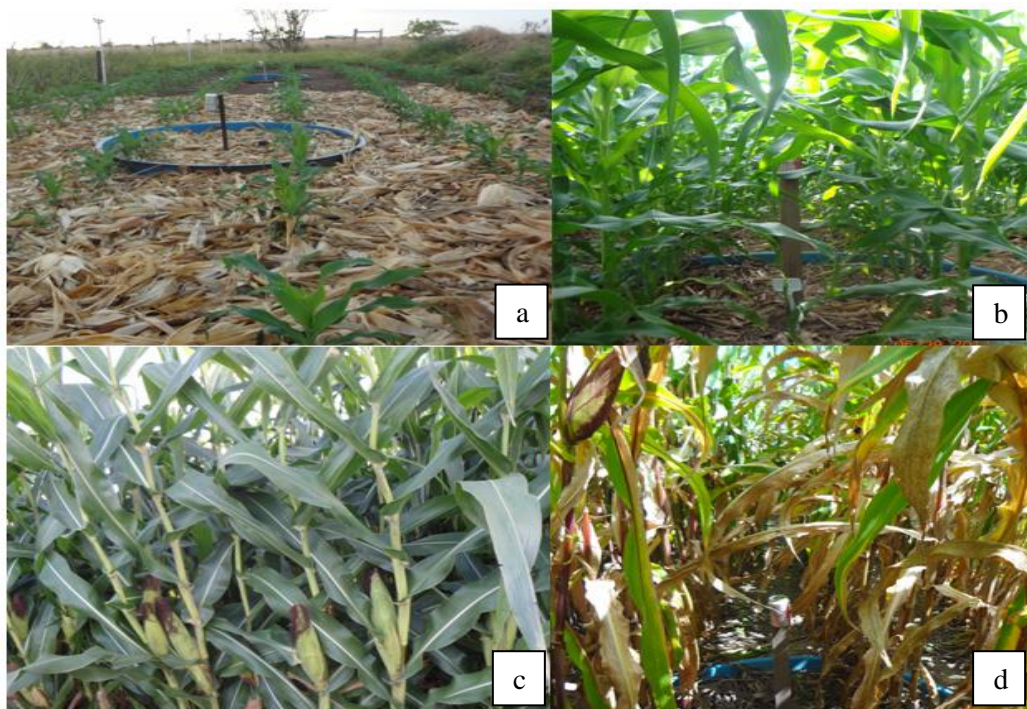


Figura 1. Lisímetros de drenagem com a cultura do milho nos estádios de desenvolvimento: a) Inicial (10% de cobertura), b) Desenvolvimento (70% da cobertura do solo), c) Intermediária (início da maturação dos grãos), d) Final (maturação). Boa Vista-RR, 2014.

4.5. RESULTADO E DISCUSSÕES

De maneira geral as condições edafoclimáticas (Tabela 1 e Tabela 2) durante o desenvolvimento do milho foram favoráveis. Estas condições climáticas concordam com as referidas por Soares (2010) que menciona, para boas produtividades do milho em zona tropical, as temperaturas médias devem ser superiores a 15 °C, com boa radiação solar, o que permite uma máxima fotossíntese.

A produtividade do milho foi de 6.955,9 kg ha⁻¹ na área sem cobertura no solo, e 6.228,5 kg ha⁻¹ na área com solo coberto. A produtividade foi maior a da média registrado no Brasil que apresenta rendimentos de 5,006 kg ha⁻¹, sendo na região Norte os rendimentos de 3,089 kg ha⁻¹ e no Estado de Roraima de 2,000 kg ha⁻¹ (IBGE, 2012).

4.5.1. Evapotranspiração de referência (ET_o)

Os valores de ET_o obtidos durante o ciclo do milho, foram obtidos por dois métodos de estimativa, o de Penman-Monteith e Jensen-Haise. Os valores de ET_o, ao longo do desenvolvimento do milho, variaram entre 1,7 e 6,6 mm dia⁻¹ pelo método de Penman-Monteith, e entre 2,2 e 7,4 mm dia⁻¹ pelo método de Jensen-Haise (Figura 2 e Tabela 3).

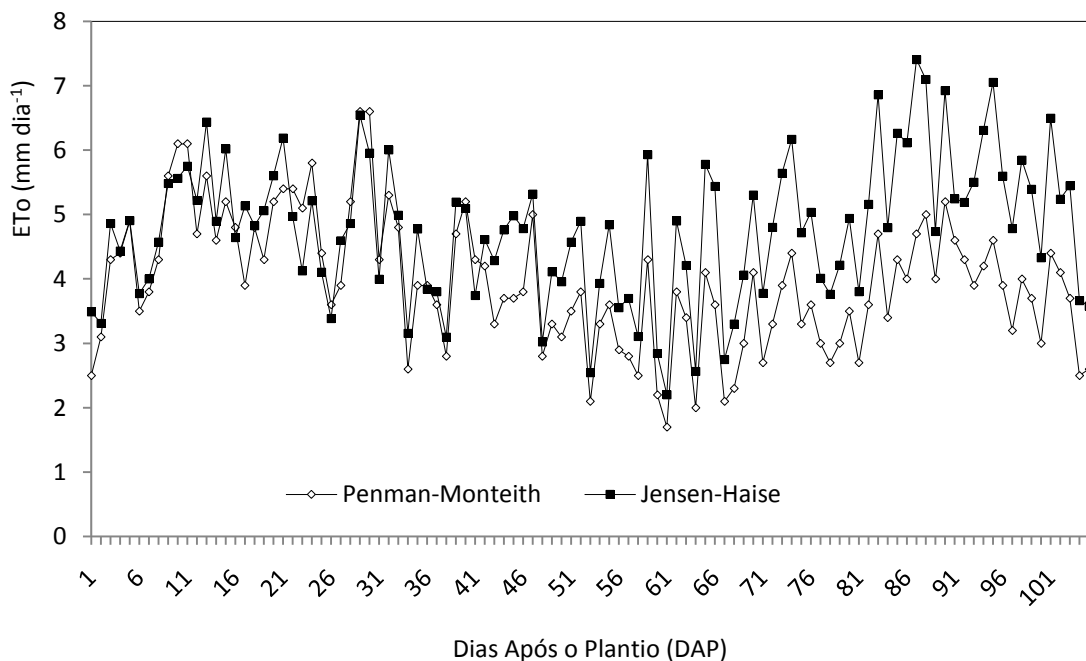


Figura 2. Valores médios da ET_o comparados entre o método Penman-Monteith (ET_o^{PM}) e método Jensen-Haise (ET_o^{JH}). Boa Vista-RR, 2014.

Na Figura 2 observe-se o mesmo comportamento dos valores dos dois métodos de estimativa, mas os valores da ET_{OJH} foram em geral superiores aos valores de ET_o^{PM} , acentuando-se esta diferença nos meses com maior intensidade de precipitação (Tabela 1), provavelmente influenciado pela maior nebulosidade deste período. Pesquisas corroboram à influência das condições climáticas no desempenho do método Jensen-Haise na estimativa da ET_o , em relação ao método padrão (Penman-Monteith), Cavalcante Jr et al.(2011) em Mossoró, RN, determinaram que o desempenho do método Jensen-Haise foi ótimo no período seco e mediano no período úmido. Souza et al. (2011), em Seropédica, RJ, determinaram em diferentes condições de nebulosidade, que o método Jensen-Haise apresentou desempenho inferior a 60%, sendo que a referência da evapotranspiração foram os lisímetros.

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

Parâmetros	Estádios fenológicos				Total
	I	II	III	IV*	
Duração..... (dias)	12	32	44	16	104
ET_o^{PM} (mm)	53,3	147,0	148,6	63,3	412,2
(mm dia ⁻¹)	4,4	4,6	3,4	4,0	4,0
ET_{OJH} (mm)	55,4	154,0	201,3	87,8	498,4
(mm dia ⁻¹)	4,6	4,8	4,6	5,5	4,8

*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 acumulados da ET_o por estágio de desenvolvimento do milho I, II, III, e IV, correspondendo valores da ET_o^{PM} de 53,3;147,0; 148,6 e 63,3 mm, e da ET_{OJH} de 55,4; 154,0; 201,3 e 87,8 mm, fazendo valores acumulativos de 412,2 e 498,4 mm respectivamente (Tabela 3). Determinou-se que os valores da ET_{OJH} por estágio de desenvolvimento foram maiores em 3,9; 4,8; 35,4 e 38,7 %, e o acumulativo em 20,9% aos da ET_o^{PM} . A média geral da ET_o^{PM} foi 4,0 mm dia⁻¹ e da ET_{OJH} foi 4,8 mm dia⁻¹.

4.5.2. Evapotranspiração da cultura (ET_c)

O ciclo do milho foi de 104 dias e pôde ser dividido em 12, 32, 44 e 16 dias para os estádios I, II, III e IV, respectivamente. Considerando os mesmos estádios determinados no trabalho, Souza et al. (2012) trabalhando com a cultura de milho em monocultivo, determinaram estádios de 18, 34, 57, e 10 dias para um ciclo de 115 dias. Santos et al. (2013) determinaram em milho verde, estádios de 16, 20, 27, 14 dias, para um ciclo de 77 dias,

enquanto Alves (2013), trabalhando com milho var. Potiguar, determinou a duração dos estádios de 25, 28, 23, e 32 dias, para um ciclo de 108 dia. Esta diferença deve-se a cultivar utilizada, formas de cultivo e sobretudo as condições climáticas, que interferem diretamente do ciclo fenológico da cultura.

Os resultados da ET_c da cultura de milho obtidos durante o ciclo e estádios de desenvolvimento, em condições de solo sem cobertura morta ($ET_{c_{sc}}$) e em solo com cobertura morta ($ET_{c_{cc}}$) apresentam mesma tendência (Figura 3). Entretanto, nos estádios iniciais e finais da cultura, $ET_{c_{cc}}$ apresenta-se inferiores a $ET_{c_{sc}}$. Supostamente, essas diferenças podem ser atribuídas a menor perda de água pela evaporação do solo, dada a barreira mecânica imposta pela palhada (Figura 1).

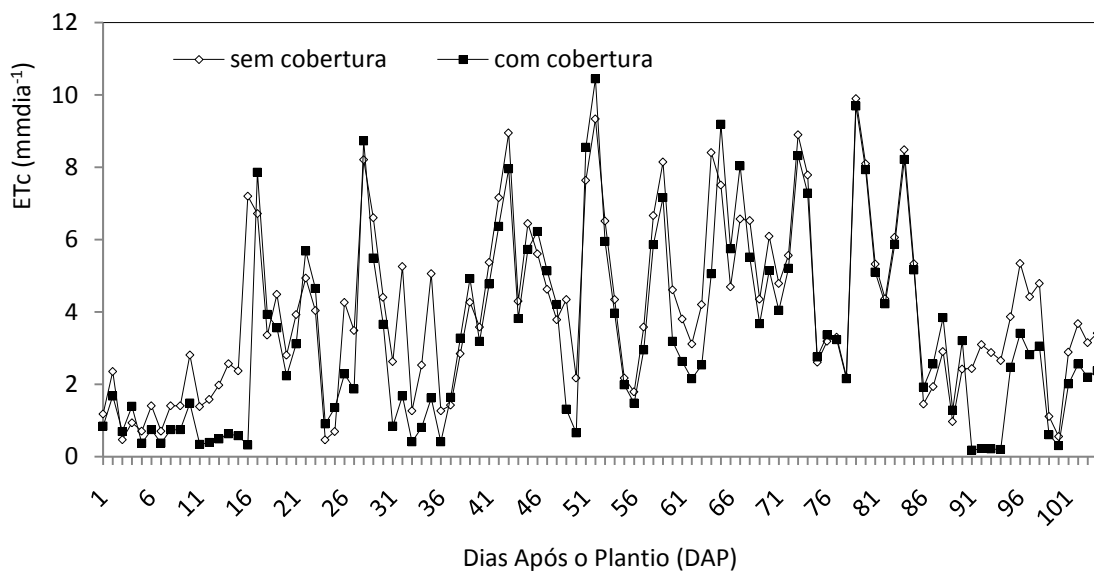


Figura 3. Valores médios comparados da ET_c de milho em condições com cobertura morta ($ET_{c_{cc}}$) e sem cobertura morta ($ET_{c_{sc}}$) no solo. Boa Vista-RR, 2014.

Os maiores valores da ET_c do milho ocorreram nos estádios de desenvolvimento II e III, onde há maior acúmulo de matéria seca e intensa atividade fisiológica – floração e enchimento de grãos (Figura 3 e Tabela 4). Resultados similares também foram encontrados por outros autores (BERGAMASCHI et al., 2006; MORAES, 2009; WAGNER et al., 2013).

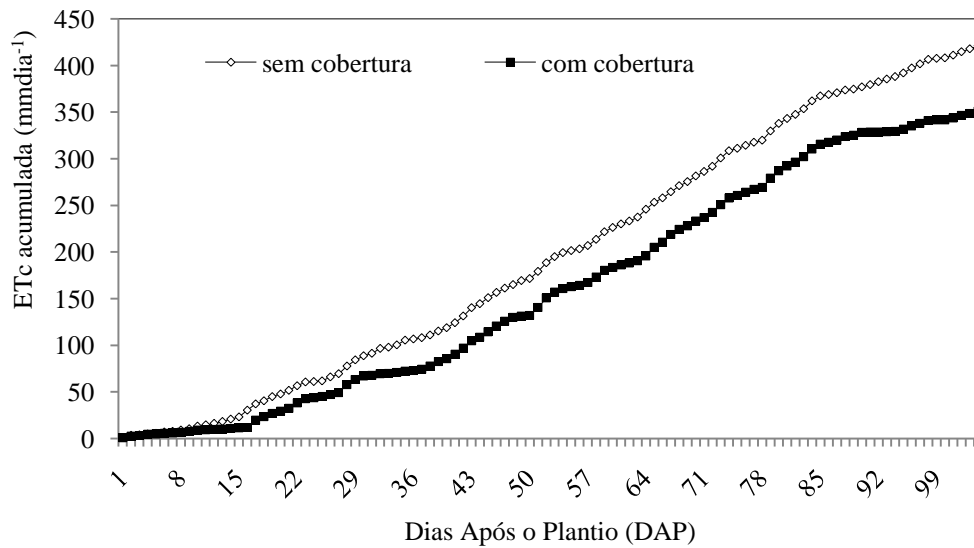


Figura 4. ETc acumulada da cultura do milho, para condições sem cobertura morta (ETc_{sc}) e com cobertura morta (ETc_{cc}) no solo. Boa Vista, RR, 2014.

Os valores médios das ETc_{sc} são maiores cerca de 73, 32, 6 e 70% em relação a ETc_{cc} nos mesmos estádios fenológicos (Tabela 4). O valor acumulativo da ETc_{sc} foi de 421,5mm e ETc_{cc} foi de 351,0 mm, resultando numa ETc_{sc} superior 16,72% a ETc_{cc} . Estes resultados mostram que a cobertura morta no solo influenciou no consumo hídrico da cultura de milho durante todo seu ciclo. Outras pesquisas corroboram estes resultados sobre o efeitos da cobertura na ETc. Lyra et al. (2010), em Arapiraca, AL, trabalhando com milho BR 106, determinaram que ETc_{sc} foi maior em 35% ao ETc_{cc} . A variação das ETc's influenciadas pela cobertura morta deve-se ao fato de que a cobertura inicialmente atua como uma barreira mecânica que reduz a incidência de luz, amplitude térmica nas camadas superficiais no solo e evita a evaporação direta de água para a atmosfera (ALLEN et al., 1998; BORKERT et al., 2003; RESENDE et al., 2005; COSTA et al., 2007; OLIVEIRA, 2011), posteriormente no processo de decomposição dos resíduos vegetais, a matéria orgânica fornece nutrientes e aumenta a disponibilidade de água no solo (BORKERT et al., 2003; RESENDE et al., 2005; OLIVEIRA, 2006; COSTA et al., 2007; SILVA, 2012).

Trabalhos sem uso de cobertura realizados em milho, determinaram valores da ETc próximos aos encontrados no trabalho. Souza et al. (2012), em Seropédica, RJ, trabalhando com milho cv. Eldorado, obtiveram um valor de 394,1 mm, para um ciclo da cultura de 115 dias. Alves (2013) na Chapada do Apodi, RN, trabalhando com a var. Potiguar, determinou um valor de 480,8 mm, para um ciclo da cultura de 107 dias. Santos et al. (2013) em Mossoró, RN, trabalhando com 'milho verde', determinaram um valor de 300,5 mm para um ciclo 77 dias.

Tabela 4. Duração dos estádios fenológicos, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) e final (IV) da cultura do milho, ET_c sem cobertura (ET_{c_{sc}}) e com cobertura (ET_{c_{cc}}) no solo. Boa Vista-RR, 2014

Parâmetros		Estádios fenológicos				Total
		I	II	III	IV*	
Duração	(dias)	12	32	44	16	104
ET _{c_{sc}}	(mm)	17,3	122,0	231,4	50,8	421,5
	(mm dia ⁻¹)	1,4	3,8	5,3	3,2	4,1
ET _{c_{cc}}	(mm)	10,0	92,5	218,9	29,8	351,0
	(mm dia ⁻¹)	0,8	2,9	5,0	1,9	3,4

* 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.

Outras pesquisas apresentaram valores diferentes da ET_c observadas no trabalho. Soares e Klar (2006) em Botucatu, SP, avaliando quatro lisímetros a profundidades do lençol freático de 50, 60, 70 e 80 cm, obtiveram valores de 244,7; 276,6; 251,8 e 219,2 mm respectivamente. Souza et al. (2010) em Arapiraca, AL, avaliaram o consumo hídrico pelas épocas de semeadura de 06/05, 19/05, 10/06 e 30/06, determinou valores de 381,65; 386,6; 385,42 e 434,35 mm respectivamente. Essas variações dependem da cultivar utilizada, do manejo adotado, condições climáticas e da densidade da população de plantas (MATZENAUER et al., 1998).

As médias gerais da ET_c durante o ciclo do milho, foram de 4,1 mm dia⁻¹ em solo sem cobertura e de 3,4 mm dia⁻¹ para o solo com cobertura (Tabela 4). Uma pesquisa (em solo sem e com cobertura morta) em milho BR 106 feita por Lyra et al. (2010) em Arapiraca, AL, obtiveram médias pelo ciclo da cultura da ET_{c_{sc}} de 2,9 mm dia⁻¹ e da ET_{c_{cc}} de 1,9 mm dia⁻¹. Outros trabalhos em milho em solo sem cobertura, determinaram valores análogos da ET_{c_{sc}}, Souza et al. (2012) em Seropédica, RJ, no cv. Eldorado, verificaram média geral de 3,46 mm dia⁻¹, Alves, (2013) em Chapada do Apodi, RN, na var. Potiguar, obtivera um valor de 4,85 mm dia⁻¹.

A ET_{c_{sc}} nos estádios fenológicos do milho I, II, III, e IV, foram de 1,4; 3,8; 5,3 e 3,2 mm dia⁻¹, respectivamente, com valor máximo de 5,3 mm dia⁻¹ no estágio III, e mínimo de 1,4 mm dia⁻¹ no estágio I. Ao mesmo tempo os valores da ET_{c_{cc}} foram 0,8; 2,9; 5,0 e 1,9 mm dia⁻¹, sendo os máximo e mínimo de 5,0 mm dia⁻¹ no estágio III, e 0,8 mm dia⁻¹ no estágio I, respectivamente.

Em outros trabalhos realizados em milho, confirmam que a ET_{c_s} apresentam os valores máximo no estágio III e mínimos no estágio I. Wagner et al., (2013) em Guarapuava,

PR, determinaram valor máximo da $ET_{c_{cs}}$ no estágio III de $7,32 \text{ mm dia}^{-1}$, e mínimo de $3,59 \text{ mm dia}^{-1}$ no estágio I. Santos et al. (2013) em Mossoró, RN, em “milho verde” determinaram valores médios mínimo da $ET_{c_{cs}}$ no estágio I de $1,94 \text{ mm dia}^{-1}$ e valor máximo no estágio III de $5,68 \text{ mm dia}^{-1}$. Já Almeida (2012) em Mossoró, RN, trabalhando em dois lisímetros com milho híbrido AG1051, determinara a $ET_{c_{sc}}$ valores mínimos no estágio I de $0,8$ e $1,4 \text{ mm dia}^{-1}$ e valores máximos no estágio IV de $6,2 \text{ mm dia}^{-1}$, e no estágio III de $5,4 \text{ mm dia}^{-1}$ respectivamente. Guerra et al. (2003) em Planaltina, DF, determinaram valor médio máximo de $6,6 \text{ mm dia}^{-1}$ no estágio III. Embrapa (2012), menciona que em condições de clima seco e quente, o milho facilmente alcança valores máximos no período de iniciação floral à maturação (III), valores da ET_c de 5 a 7 mm dia^{-1} .

4.5.3. Coeficiente de cultivo (Kc) da cultura de milho

Os resultados das variações dos valores dos Kc's médios em solo com cobertura morta ($K_{c_{cc}}$) e sem cobertura morta ($K_{c_{sc}}$) para diferentes estádios de desenvolvimento do milho apresenta-se na Tabela 5 e nas Figuras 5 e 8. Observa-se indiferentemente dos métodos de estimativa da ETo (Penman-Monteith e Jensen-Haise), que os valores do $K_{c_{sc}}$ são maiores aos valores do $K_{c_{cc}}$.

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

Estádios	Duração diasPenman-Monteith.....			Jensen-Haise.....			
		$K_{c_{sc}}$	DP	$K_{c_{cc}}$	DP	$K_{c_{sc}}$	DP	$K_{c_{cc}}$	DP
I*	12	0,40	0,15	0,28	0,17	0,38	0,14	0,26	0,16
II	32	0,84	0,24	0,64	0,34	0,80	0,23	0,61	0,23
III	44	1,59	0,38	1,49	0,35	1,19	0,31	1,11	0,28
IV	16	0,81	0,13	0,48	0,10	0,58	0,06	0,34	0,07

* 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.

Para determinar as variações entre os valores médios de $K_{c_{sc}}$ e $K_{c_{cc}}$, contrasta-se os valores dos estádios fenológicos I, II, III, e IV da cultura, com cada método de estimativa da ETo (Tabela 5). No método Penman-Monteith, observa-se valores maiores do $K_{c_{sc}}$ os quais foram $0,40$; $0,84$; $1,59$ e $0,81$, em relação os valores de $K_{c_{cc}}$ que apresentaram valores de $0,28$; $0,64$; $1,49$ e $0,48$. Do mesmo modo no método Jensen-Haise, apresentam valores maiores do $K_{c_{sc}}$ os quais resultaram $0,38$; $0,80$; $1,19$ e $0,58$, em relação aos valores do $K_{c_{cc}}$

que foram 0,26; 0,61; 1,11 e 0,34. Observa-se os comportamentos destas variações pelos dois casos ($K_{c_{sc}}$ e $K_{c_{cc}}$) nas Figura 5 e Figura 6.

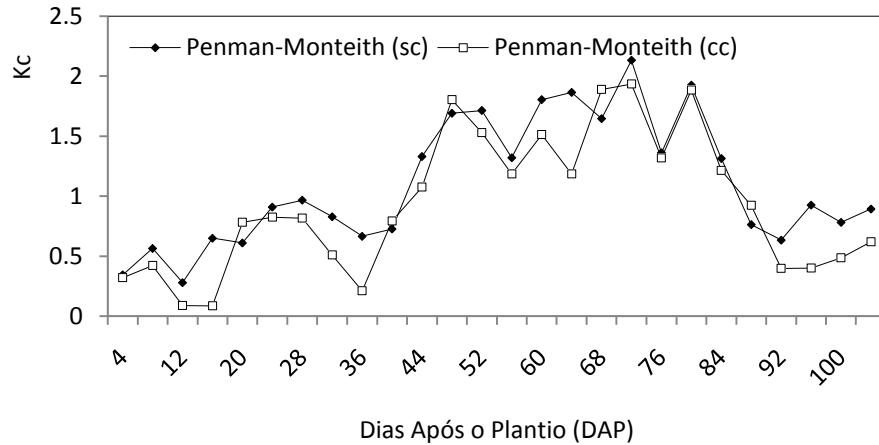


Figura 5. Variações dos $K_{c_{sc}}$ e $K_{c_{cc}}$ do milho obtidos pela estimativa da E_{To} do método Penman-Monteith (E_{To}^{PM}).

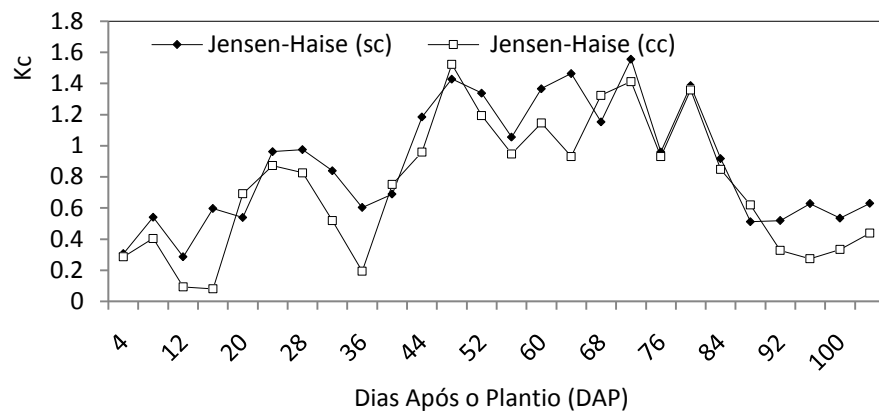


Figura 6. Variações dos $K_{c_{sc}}$ e $K_{c_{cc}}$ do milho obtidos pela estimativa da E_{To} do método Jensen-Haise (E_{To}^{JH}).

Contrastando o $K_{c_{sc}}$ e $K_{c_{cc}}$ nos estádios fenológicos I, II, III, e IV da cultura, e métodos de estimativa da E_{To} na Tabela 5. Os valores do $K_{c_{sc}}$ apresentados foram, para o método Penman-Monteith de 0,40; 0,84; 1,59 e 0,81 e para o método Jensen-Haise de 0,38; 0,80; 1,19 e 0,58. De igual maneira os $K_{c_{cc}}$, o método Penman-Monteith apresentou 0,28; 0,64; 1,49 e 0,48, e o método Jensen-Haise apresentou 0,26; 0,61; 1,11 e 0,34. Observa-se os valores dos $K_{c_{sc}}$ e $K_{c_{cc}}$ que os obtidos pelo método Penman-Monteith são maiores aos obtidos

pelo método Jensen-Haise para todos os estádios fenológicos. Pode-se distinguir o comportamento das variações destes valores nas Figuras 7 e Figura 8.

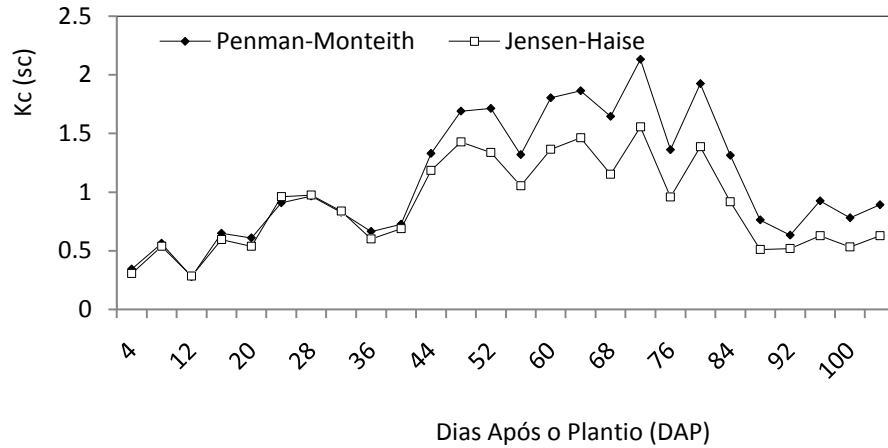


Figura 7. Variação do K_{csc} do milho obtidos pelas estimativas das ETo do método Penman-Monteith (ETo^{PM}) e Jensen-Haise (ETo_{JH}).

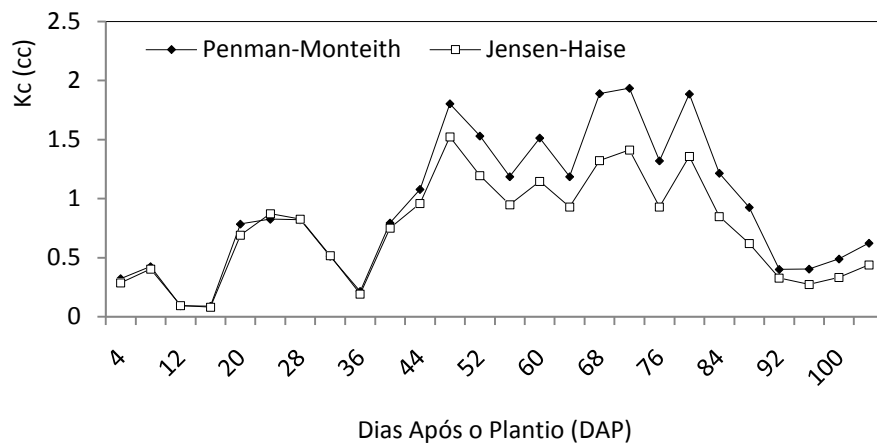


Figura 8. Variação do K_{ccc} do milho obtidos pelas estimativas das ETo do método Penman-Monteith (ETo^{PM}) e Jensen-Haise (ETo_{JH}).

Trabalhos com milho em solo sem cobertura, determinaram o K_{csc} , para os estádios de desenvolvimento I, II, III, e IV, onde apresentam valores muito próximos aos obtidos neste trabalho. Alves (2013) em Apodi, RN, trabalhara com a var. Potiguar, obtivera valores médios do K_c de 0,72; 1,11; 1,49 e 1,09. Santos et al. (2013) em Mossoró, RN, conduziram um experimento com "milho verde", os K_c 's obtidos foram 0,48 a 0,52; 0,61 a 0,75; 1,14 a 1,19 e 1,08 a 1,17. Souza et al. (2012) em Seropédica, RJ, avaliaram o K_c da var. Eldorado,

determinaram valores de 0,60 a 0,65; 0,80 a 0,90; 1,0 a 1,20 e 0,52 a 0,70. Almeida (2012) trabalhando com a cv. AG 1051, em Mossoró, RN, obteve valores de Kc de 0,18; 0,55; 0,96 e 0,84. No entanto Souza et al. (2008), em Petrolina, PE, trabalharam no cv. Catingueiro, obtiveram valores de Kc de 0,86; 1,23; 0,97 e 0,52, determinando que o valor mais alto do $K_{c_{sc}}$ encontra-se no estágio II.

Outros pesquisadores determinaram o Kc do milho para três estádios fenológicos: semeadura-pendoamento (I), pendramento-espigamento (II) e espigamento-maturidade fisiológica (III). Considerando estes estádios, Guerra et al. (2003) em Planaltina, DF, determinaram valores de Kc de 0,20; 1,63 e 0,75. Ferreira et al. (2007), em Teresina, PI, determinaram valores do Kc de 0,88; 1,18 e 1,01. Carvalho et al. (2006), nas condições climáticas de Seropédica, RJ, obtiveram valores do Kc que variaram de 0,57 a 0,71; 0,90 a 1,12 e de 0,63 a 0,86.

4.6. CONCLUSÕES

A cultura de milho em solo nu apresenta maior evapotranspiração (ET_c) em todos os estádios fenológicos, em relação ao cultivo em condições de solo coberto.

Existe variação entre os valores de coeficiente de cultivo (K_c) determinados pelos métodos Penman-Monteith e Jensen-Haise, estes valores variam também em função do solo nu e solo coberto.

Os valores da ET_c e K_c, determinados em solo com cobertura, nas condições edafoclimáticas do estado de Roraima, podem ser utilizados no planejamento da irrigação da cultura de milho.

4.7. REFERENCIAS

- ALENCAR, P.; SEDIYAMA, C.; MANTOVANI, C.; MARTINEZ, A. Tendências recentes nos elementos do clima e suas implicações na evapotranspiração da cultura do milho em Viçosa - MG. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v. 31. n. 4, 2011.
- 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).
- ALMEIDA, B. M. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condições de salinidade residual**. 2012. 80f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012.
- ALVES, A. S. **Necessidades hídricas da cultura do milho sob irrigação suplementar nas condições edafoclimáticas da Chapada do Apodi**. 66 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2013.
- ARAUJO, 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**, v. 5, n. 3, p. 563-567, 2001.
- BERGAMASCHI, H.; WHEELER, T. R.; CHALLINOR, A. J.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 603-613, 2007.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; PEREIRA, P. G. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, A.; BERGONCI, I.; CLEUSA BIANCHI, M. MÜLLER, G.; COMIRAN, F.; HECKLER, M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**.v.39, n.9, 2004.
- BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. D. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n.1, p.143-153, 2003.
- CARVALHO, D. F; SILVA, L. D. D.; FOLEGATTI, M. V.; COSTA, J. R.; CRUZ, F. A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.14, n.1, p.97-105, 2006.
- 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.
- COSTA, D.M.A.; MELO, H.S.; FERREIRA, S.R. Eficiência da cobertura morta na retenção de umidade no solo. **Holos**, v. 23, p. 59-69, 2007.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. 2. ed. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

EMBRAPA, Milho e Sorgo. Sistemas de Produção. Versão Eletrônica-2a ed. 2010. <disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br>> Acesso em: 15 nov. 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análises de solos / Centro Nacional de Pesquisa de Solos.-2. ed. rev. atual.-Rio de Janeiro, 212p.1997.

FERREIRA, V. M.; ANDRADE J ÚNIOR, A. S.; MASCHIO, R.; CARDOSO, M. J.; SILVA, C. R.; MORAIS, E. L. C.; **Coefficientes de cultivo do milho em sistemas monocultivo e consorciado com feijão-caupi.** XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Aracaju, SE. 2007.

GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C.; EVANGELISTA, W. Necessidade Hídrica no Cultivo de Feijão, Trigo, Milho e Arroz sob Irrigação no Bioma Cerrado. Embrapa. Planaltina, DF. p.1-15. 2003. (Boletim Técnico 100)

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Culturas temporárias e permanentes. **Prod. agric. munic.**, Rio de Janeiro, v. 39, p.1-101, 2012.

LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JUNIOR, R. A. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga**, v.15, p.173-183, 2010.

MARTINS, J. D. **Modelagem técnica e econômica da irrigação deficitária para diferentes métodos de aplicação de água na cultura do milho.** 2013. 157 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2013.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A. Evapotranspiração da cultura do milho. II-Relações com a evaporação do tanque classe “A”, com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global, em três épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 15-21, 1998.

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 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento)- Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MELO, T. M.; WOTTRICH, I.; LOUZADA J. A. E HELFER, F. Avaliação do atendimento da demanda hídrica da cultura do milho através da subirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 4, p. 226-233, 2010.

MENDONÇA, C.; SOUSA, F.; BERNARDO, S.; DIAS, P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v.7, n. 2. p. 275 -279, 2003.

OLIVEIRA, F. M. D. **Fontes e doses de adubação orgânica no cultivo da mamoneira irrigada com e sem cobertura morta.** 2011. 92 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande-PB. 2011.

OLIVEIRA, N. T. D. **Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros.** 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2006.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera – Conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, p.478, 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**, v. 29, n. 1, p. 100-105, 2005.

SANTOS, W. D. O. **Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica da cultura do milho nas condições do semiárido brasileiro**. 98f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2012.

SANTOS, W. D. O; NUNES, R. L. C.; GALVÃO, D. D. C.; PEREIRA, V. D. C.; MANIÇOBA, R. M.; LIMA, J. G. A.; & VIANA, P. C. Evapotranspiração da cultura do milho verde, análise estatística. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 1, p. 75-81, 2013.

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 - PE, 2012.

SILVA, V. D. P.; FILHO, A. F. B.; SILVA, B. B.; CAMPOS, J. H. D. C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 547-553, 2005.

SOARES, F. C. **Análise de viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2010.116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil. Santa Maria, 2010.

SOARES, M. C. F. de.; KLAR, A. E.; **Avaliação do desempenho de um conjunto de lisímetros com uma cultura de milho (*Zea Mays* L.)**, 2006.

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-DOI: 10.5039/agraria. v7i1a802. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, 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**, v.33, n.1, p.15-22, 2011.

SOUZA, J. L.; MEDEIROS, R. P.; LYRA, G. B.; FERREIRA JÚNIOR, R. A.; TEODORO, I.; BRITO, J. E. D. Evapotranspiração do milho em quatro épocas de semeadura, na região de Arapiraca, Alagoas. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia - CD-ROM, 2010, Belém. AL, Amazônia e o Clima Global. Belém: SBMET, 2010.

WAGNER, M. V.; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; SAITO, L. R.; LIMA, A. S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n. 2, p. 170-179, 2013.