



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
E BIOTECNOLOGIA DA REDE BIONORTE**

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (K_c) PARA O
MANEJO DA ÁGUA E DOMESTICAÇÃO DO CAMU-CAMU
(*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) EM TERRA FIRME**

CARLOS ABANTO RODRIGUEZ

Boa Vista - RR

2020

CARLOS ABANTO RODRIGUEZ

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (K_c) PARA O
MANEJO DA ÁGUA E DOMESTICAÇÃO DO CAMU-CAMU
(*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) EM TERRA FIRME**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal de Roraima, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Conservação ou Biotecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Pollyana Cardoso Chagas
Coorientador: Prof. Dr. Wellington Farias Araújo
Coorientador: Pesq. Dr. Edvan Alves Chagas

Boa Vista - RR

2020

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

R696d Rodriguez, Carlos Abanto.

Determinação do coeficiente de cultura (Kc) para o manejo da água e domesticação do camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) em terra firme / Carlos Abanto Rodriguez. – Boa Vista, 2020.
102 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Pollyana Cardoso Chagas.

Coorientador: Dr. Wellington Farias Araújo.

Coorientador: Dr. Edvan Alves Chagas.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte.

1 - Caçari. 2 - Necessidades hídricas. 3 - Cobertura vegetal morta.
4 - Lisímetro de drenagem. 5 - Profundidade efetiva de raízes. I - Título.
II - Chagas, Pollyana Cardoso. III - Araújo, Wellington Farias.
IV - Chagas, Edvan Alves.

CDU - 634.42

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista:
Maria de Fátima Andrade Costa - CRB-11/453-AM

CARLOS ABANTO RODRIGUEZ

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) PARA O
MANEJO DA ÁGUA E DOMESTICAÇÃO DO CAMU-CAMU
(*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) EM TERRA FIRME**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, na Universidade Federal de Roraima, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Conservação ou Biotecnologia.

Aprovada em: 20/02/2020

Banca examinadora



Prof. Dra. Pollyana Cardoso Chagas
Universidade Federal de Roraima/UFRR



Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo
Universidade Federal de Roraima/UFRR



Prof. Dr. Raphael Henrique da Silva Siqueira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima-Campus Amajari/IFRR



Prof. Dr. José de Anchieta Alves de Albuquerque
Universidade Federal de Roraima/UFRR



Pesq. Dr. Oscar José Smiderle
EMBRAPA/RR

A Deus e a minha Pátria, Peru
A minha mãe
A meus irmãos
“A razão de todo meu esforço”

Ofereço.

A todas as pessoas que trabalham e lutam pelo desenvolvimento de tecnologias para
valorização da biodiversidade da Amazônia

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Roraima-UFRR pela oportunidade de seguir crescendo profissionalmente.

Ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE, pela oportunidade e facilidades para realizar o curso de doutorado.

Ao Centro de Ciências Agrárias-CCA da UFRR, pela disponibilidade das áreas experimentais e logística para a condução do trabalho de pesquisa.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA/RR pela infraestrutura e apoio com a logística para instalar e conduzir o experimento em campo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES, pela bolsa de estudo concedida durante o período de 48 meses.

Agradecimentos especiais ao Dr. Edvan Alves Chagas e a Dra. Pollyana Chagas, pela amizade e orientação no planejamento do trabalho de pesquisa.

Agradecimento especial ao Prof. Dr. Wellington Farias Araújo e ao Prof. Dr. Raphael Henrique da Silva Siqueira pela amizade e orientação no planejamento e condução do trabalho de pesquisa.

Agradecimento especial aos membros da banca examinadora, Dr. Valdinar Ferreira Melo, Dr. Raphael Henrique da Silva Siqueira, Dr. José de Anchieta Alves de Albuquerque e Dr. Oscar José Smiderle, pelas valiosas contribuições para a melhorar a qualidade da versão final da Tese.

Aos meus amigos: Dr. Roberto Tadashi Sakazaki, Caio César Pinho Souza e Luiz Guilherme Carvalho Zborowski pelo apoio no traslado e transplante das plantas de camu-camu na área experimental. Também a meus amigos Matheus Gonçalves Paulichi e João Vitor Garcia de Lima, pelo apoio constante na avaliação do experimento durante os dois anos de atividades.

Agradeço também as doutoras Nilma Rocha de Araújo e Maria Luiza Grigio pela amizade e apoio constante na coordenação das atividades nos campos experimentais.

Aos colegas e amigos de doutorado: João Luiz Monteiro Neto, Miguel Maffei Valero, Patrícia Dos Santos Mendes pela parceria no desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa.

Agradeço ao Grupo de Pesquisa em Fruticultura Nativa (UFRR-EMBRAPA/RR) pelo apoio nos trabalhos de manutenção do campo experimental.

Agradeço também ao Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-IIAP, pelo apoio e liberação para realizar os estudos de Doutorado no Brasil.

RODRIGUEZ, Carlos Abanto. **Determinação do coeficiente de cultura (Kc) para o manejo da água e domesticação do camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) em terra firme**. 2020. 102 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Conservação) - Universidade Federal de Roraima, Roraima, 2020.

RESUMO

O camu-camu é um recurso genético da Amazônia com grande potencial de uso devido a suas propriedades nutracêuticas, porém, por ser uma cultura em processo de domesticação técnicas que auxiliem na adaptação *ex situ*, tem que ser desenvolvidas. Nesse sentido, objetivou-se determinar o coeficiente de cultura (Kc) para o manejo da água e domesticação do camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) em terra firme, tanto, pelos métodos de lisimetria quanto por medição indireta da umidade em campo final; no primeiro foram utilizados lisímetros de drenagem e no segundo foram utilizados sensores de umidade do solo (10HS[®]) calibrados. Para ambos métodos, foram utilizadas 6 plantas de camu-camu, sendo cada duas com 2, 4 e 6 anos de idade com características semelhantes em altura, área foliar, diâmetro de caule e número de ramos basais e terminais. Logo em uma planta de cada idade foi colocada cobertura vegetal morta (CVM) composta de restos de capim *Trachypogon plumosus* na área de influência da copa com a finalidade de determinar os efeitos sobre o consumo de água com e sem CVM. Para a determinar Kc, foi necessário calcular a ETo pelo método de Penman-Monteith/FAO, e a ETc pelo balanço hídrico nos lisímetros e em campo final. Depois de dois anos de avaliações (junho, 2017 a junho de 2019) foi possível obter o consumo de água em plantas com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos, pelo fato que, cronologicamente alcançaram mais um ano de idade. O Kc determinado com os dois métodos apresentou valores similares até aos 6 anos de idade com e sem CVM. Pelo contrário, nas plantas com 7 anos foi observado que os valores determinados nos lisímetros foram superiores aos verificados com os sensores 10HS[®], pois o tamanho do lisímetro não foi o suficientemente grande para comportar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de 7 anos de idade. Por esta razão, pode-se utilizar como referência o Kc das plantas com CVM até os 6 anos de idade em ambos métodos, porém para o sétimo ano de máxima frutificação em diante, recomenda-se o Kc obtido pelo segundo método estudado com CVM.

Palavras-chave: Caçari; Necessidades hídricas; Cobertura vegetal morta; Lisímetro de drenagem; Kc; Sensores 10HS[®]; Área foliar; Profundidade efetiva de raízes.

RODRIGUEZ, Carlos Abanto. **Determination of the crop coefficient (Kc) for water management and domestication of camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) on uplands.** 2020. 102 f. Thesis (Doctorate in Biodiversity and Conservation) - Federal University of Roraima, Roraima, 2020.

ABSTRACT

Camu-camu is a genetic resource in the Amazon with great potential for use due to its nutraceutical properties, however, as it is a culture in the process of domestication techniques that assist in *ex situ* adaptation, must be developed. In this sense, the objective was to determine the crop coefficient (Kc) for water management and domestication of camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) on uplands, both by the methods of lysimetry and by indirect measurement of humidity in final field; in the first, drainage lysimeters were used and in the second, calibrated soil moisture sensors (10HS[®]) were used. For both methods, 6 camu-camu plants were used, each with 2, 4 and 6 years of age with similar characteristics in height, leaf area, stem diameter and number of basal and terminal branches. Soon, in a plant of each age, a vegetable mulch (VM) composed of remains of *Trachypogon plumosus* grass was placed in the area of influence of the crown in order to determine the effects on water consumption with and without VM. To determine Kc, it was necessary to calculate ETo by the Penman-Monteith/FAO method, and ETc by the water balance in the lysimeters and in the final field. After two years of evaluations (June 2017 to June 2019) it was possible to obtain water consumption in plants with 2, 3, 4, 5, 6 and 7 years, because, chronologically, they reached another year of age. The Kc determined with both methods showed similar values up to 6 years of age with and without VM. On the contrary, in plants with 7 years it was observed that the values determined in the lysimeters were superior to those verified with 10HS[®] sensors, because the size of the lysimeter was not big enough to support the development of the root system of the plants of 7 years of age. For this reason, the Kc of plants with VM up to 6 years of age can be used as a reference in both methods, but for the seventh year of maximum fruiting onwards, the Kc obtained by the second method studied with VM is recommended.

Key words: Caçari; Hydric needs; Vegetable mulch; Drainage lysimeter; ECH2O 10HS[®] sensors; Leaf area; Effective root depth.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Detalhe da Planta (A), flores (B), frutos maduros (C) e polpa (D) do camu-camu. .	18
Figura 2. Esquema representativo do balanço hídrico no solo.	21
Figura 3. Curva dos coeficientes culturais para culturas anuais e perenes.	23
Figura 4. Lisímetro de drenagem utilizado para determinar a evapotranspiração da cultura (ETc) das plantas de camu-camu em diferentes idades.	33
Figura 5. Detalhe da obtenção (1), transporte (2) e transplante (3) das plantas de camu-camu com 4 e 5 anos de idade.	35
Figura 6. Desenvolvimento vegetativo das plantas de camu-camu de diferentes idades nos lisímetros de drenagem: (1a, 1b - 2 anos); (2a, 2b - 4 anos); (3a, 3b - 6 anos), com e sem cobertura vegetal morta.	36
Figura 7. Sistema de irrigação por aspersão convencional na área experimental de camu-camu	37
Figura 8. Detalhe da Mensuração do comprimento (1), largura (2), área foliar (3), e contagem total (4) das folhas das plantas de camu-camu.	40
Figura 9. Detalhe da Amostragem (1) e preparo (2) das raízes para a análise do sistema radicular de plantas de camu-camu.	41
Figura 10. Desenvolvimento de raízes superficiais na planta de camu-camu com 7 anos de idade com cobertura Vegetal morta (CVM) no lisímetro de drenagem.	43
Figura 11. Representação gráfica do volume (cm ³) de raízes em função da idade de planta, tipo de manejo com e sem cobertura vegetal morta (CVM), profundidade e distância ao caule principal da planta no lisímetro de drenagem.	44
Figura 12. Representação gráfica da matéria seca (cm ³) de raízes em função da idade de planta, tipo de manejo com e sem cobertura vegetal morta (CVM), profundidade e distância ao caule principal da planta no lisímetro de drenagem.	45
Figura 13. Representação gráfica da variação dos elementos climáticos e da evapotranspiração de referência (ET _o) estimada pelo método de Penman-Monteith/FAO para Boa Vista-RR, durante o período de junho de 2017- junho de 2019.	47
Figura 14. Representação gráfica dos dados da evapotranspiração da cultura (ETc) de plantas de camu-camu com 2 (14A) e 3 (14B) anos de idade com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta, estimada pelo balanço hídrico em lisímetros de drenagem.	49
Figura 15. Representação gráfica dos dados da evapotranspiração da cultura (ETc) de plantas de camu-camu de 4 (15A) e 5 (15B) anos de idade com (cCVM) sem (sCVM) cobertura vegetal morta, estimada pelo balanço hídrico em lisímetros de drenagem.	49
Figura 16. Representação gráfica dos dados da evapotranspiração da cultura (ETc) de plantas de camu-camu com 6 (16A) e 7 (16B) anos de idade com (cCVM) sem (sCVM) cobertura vegetal morta, estimada pelo balanço hídrico em lisímetros de drenagem.	50
Figura 17. Coeficiente de cultura (K _c) em plantas de camu-camu, com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta, nas fases FI e FII de desenvolvimento vegetativo e FIII de desenvolvimento reprodutivo obtido pelo método do lisímetro de drenagem.	53

CAPÍTULO II

Figura 1. Colecta, saturación y colocación de los sensores 10HS [®] en las muestras de suelo. .	64
Figura 2. Datos brutos de humedad volumétrica obtenidos por las lecturas de los sensores de humedad para toda serie de datos de ambas profundidades (0,0 hasta 0,4 m).	65

Figura 3. Datos brutos de humedad volumétrica obtenidos de las profundidades de 0-0,2 m (A) y de 0,2-0,4 m (B).....	66
Figura 4. Verificación de la exactitud de la humedad volumétrica con el modelo generado por la calibración de toda la serie de datos.	67
Figura 5. Verificación de la exactitud de la humedad volumétrica con los modelos generados por la calibración para las profundidades de 0-0,2 m (A) y de 0,2-0,4 m (B).....	68

CAPITULO III

Figura 1. Detalhes da abertura das covas (A), obtenção de plantas (B), Traslado (C) e transplântio (D) das plantas de camu-camu na área experimental.	77
Figura 2. Plantas com 2 anos (1a-sem, 1b-com CVM), plantas com 4 anos (2a- sem, 2b- com CVM) e plantas com 6 anos (3a- sem, 3b-com CVM).....	78
Figura 3. Detalhes da Calibração (A) e acondicionamento dos sensores (B), e Data logger-Em5b [®] (C) para o registro dos dados de umidade volumétrica no solo.	79
Figura 4. Sistema de irrigação por aspersão convencional na área experimental de camu-camu.	80
Figura 5. Detalhes da Mensuração do comprimento (1), largura (2), área foliar (3), e contagem total (4) das folhas das plantas de camu-camu.	82
Figura 6. Detalhes da abertura das trincheiras (A), exposição (B) e pintura de raízes (C) das plantas de camu-camu.	83
Figura 7. Distribuição do sistema radicular e profundidade efetiva das raízes de plantas com 3 anos de idade, com e sem cobertura vegetal morta (CVM).....	86
Figura 8. Distribuição do sistema radicular e profundidade efetiva das raízes de plantas com 5 anos de idade com e sem cobertura vegetal morta (CVM).....	87
Figura 9. Distribuição do sistema radicular e profundidade efetiva das raízes de plantas com 7 anos de idade, com e sem cobertura vegetal morta (CVM).....	88
Figura 10. Representação gráfica da variação dos elementos climáticos e da evapotranspiração de referência (ET _o) estimada pelo método de Penman-Monteith/FAO para Boa Vista-RR, durante o período de junho de 2017- junho de 2019.	90
Figura 11. Representação gráfica da Evapotranspiração da cultura (ET _c) de plantas de camu-camu com 2 (11A) e 3 (11B) anos de idade, com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta.....	91
Figura 12. Representação gráfica da Evapotranspiração da cultura (ET _c) de plantas de camu-camu com 4 (12A) e 5 (12B) anos de idade com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta.....	92
Figura 13. Representação gráfica da Evapotranspiração da cultura (ET _c) de plantas de camu-camu com 6 (13A) e 7 (13B) anos de idade, com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta.....	93
Figura 14. Coeficiente de cultura (K _c) em plantas de camu-camu com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta nas fases FI e FII de desenvolvimento vegetativo e FIII de desenvolvimento reprodutivo.	96

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Lâminas de irrigação aplicadas as plantas de camu-camu durante o período de avaliação, junho de 2017 a junho de 2019.	38
Tabela 2. Características vegetativas das plantas de camu-camu em diferentes idades.....	42
Tabela 3. ETc acumulada e duração dos estádios fenológicos, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) da cultura do camu-camu em solos com e sem cobertura vegetal morta (CVM).	51

CAPÍTULO II

Tabela 1. Raíz del error cuadrático medio antes y después de la calibración (RMSE 1 y 2, respectivamente), ecuaciones de calibración y coeficientes de determinación (R^2) para el monitoreo de la humedad en las profundidades evaluadas.....	67
--	----

CAPÍTULO II

Tabela 1. Lâminas de irrigação aplicadas as plantas de camu-camu durante dois anos de avaliação, de junho de 2017 a junho de 2019.....	80
Tabela 2. Características vegetativas das plantas de camu-camu em diferentes idades.....	85
Tabela 3. Valores acumulados de ETc das plantas de camu-camu nas fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo.	94

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. HIPÓTESES.....	16
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
4.1 Cultura do camu-camu	17
4.2 Avanços na domesticação e conservação do camu-camu	19
4.3 Importância da irrigação para as culturas agrícolas	20
4.4 Balanço hídrico no solo (BHS)	20
4.5 Evapotranspiração (ET).....	21
4.6 Evapotranspiração da cultura (ETc).....	21
4.7 Evapotranspiração de referência (ETo).....	22
4.8 Coeficiente de cultura (Kc)	22
4.9 Lisímetros de drenagem	23
4.10 Reflectometria no domínio da frequência (FDR).....	23
4.11 Cobertura vegetal morta	24
4.12 Fases e estádios fenológicos do camu-camu	24
4.13 Profundidade efetiva do sistema radicular	25
4.14 Referências bibliográficas	25
5. CAPÍTULO I. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) POR MEIO DE LISÍMETROS DE DRENAGEM, COM E SEM COBERTURA VEGETAL MORTA, PARA O MANEJO DA ÁGUA E DOMESTICAÇÃO DO CAMU-CAMU EM TERRA FIRME.....	29
5.1 RESUMO	29
5.2 INTRODUÇÃO	31
5.3 MATERIAL E MÉTODOS	33
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.5 CONCLUSÕES.....	54
5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
6. CAPÍTULO II. CALIBRACIÓN DE SENSORES DE REFLECTOMETRÍA DE DOMINIO DE FRECUENCIA PARA ESTIMAR LA HUMEDAD EN UN SUELO GERIC XANTHIC FERRALSOL.....	59
6.1 RESUMEN.....	59
6.2 INTRODUCCIÓN	61
6.3 MATERIALES Y MÉTODOS	63
6.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
6.5 CONCLUSIONES	69
6.6 LITERATURA CITADA.....	70
7. CAPÍTULO III. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) DO CAMU-CAMU, COM E SEM COBERTURA VEGETAL MORTA, UTILIZANDO SENSORES DE UMIDADE 10HS® PARA O MANEJO DA ÁGUA E DOMESTICAÇÃO EM TERRA FIRME... 72	72
7.1 RESUMO	72
7.2 INTRODUÇÃO	74
7.3 MATERIAL E MÉTODOS	76
7.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
7.5 CONCLUSÕES.....	97
7.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102

1. INTRODUÇÃO

O camu-camu é um recurso genético florestal não madeirável que se desenvolve naturalmente nas margens dos rios, lagos e igarapés da bacia Amazônica, abrangendo principalmente os países do Brasil, da Venezuela, da Colômbia e do Peru (PINEDO et al., 2010). Seu habitat varia desde solos férteis da várzea do Peru, onde há influência direta dos sedimentos transportados pelos rios dos Andes, até solos com baixa fertilidade nutricional, como às praias de areia branca no rio Negro na Amazônia Brasileira (YUYAMA; VALENTE, 2011).

A espécie se destaca por possuir propriedades nutracêuticas devido ao elevado conteúdo de Vitamina C (7.355,00 mg por 100 g de polpa) (CHAGAS et al., 2015) e compostos antioxidantes como carotenoides e antocianinas (NEVES et al., 2015), que ajudam na prevenção de doenças degenerativas ocasionadas pelo excesso de radicais livres no corpo humano (DAMAZIO et al., 2017). Além disso, é uma importante fonte de potássio, ferro, cálcio e fósforo (RIBEIRO et al., 2016).

Devido a importância do produto, instituições de pesquisa, tanto no Peru como no Brasil vêm desenvolvendo pesquisas com a finalidade de domesticar, conservar e cultivar a espécie em ecossistemas diferentes do natural. No Peru, tem avanços significativos, porém a espécie continua sendo estudada, e mais ainda após a forte demanda do produto pelo mercado Japonês no ano de 2000, fato que ocasionou níveis intensos de extração de matéria prima do meio natural, além disso a expansão urbana, industrial, minera e de monoculturas convencionais estão provocando risco de erosão genética e conseqüentemente a perda das populações naturais (PINEDO et al., 2010; PINEDO et al., 2019).

Em Roraima extremo norte do Brasil, a ocorrência de populações nativas de camu-camu é significativa, e grande parte dessa riqueza ainda continua desconhecida e com risco de ser perdida por vários fatores, como: construção de usinas para a geração de energia elétrica, diminuição dos agentes polinizadores, perda de plantas pelas flutuações nos níveis das enchentes, pesca indiscriminada dos peixes dispersores de sementes, entre outros.

Portanto, para a preservação deste recurso da biodiversidade, novas estratégias de domesticação e conservação *ex situ* necessitam ser desenvolvidas com a finalidade de ser utilizado no presente e no futuro em favor da sociedade. A conservação *ex situ* implica proteger a espécie em jardins botânicos, arboretos, bancos de sementes e bancos de “germoplasma” (PRIMACK; RODRIGUES, 2005). No entanto, todo o processo de prospecção, coleção, estabelecimento e manutenção do recurso genético precisa de atos permanentes do homem para

garantir a domesticação, adaptabilidade e produtividade (ROCHE; DOUROJEANNI, 1984; CLEMENT et al., 2015). Entre as ações, o suprimento de água é uma prática essencial para atender às necessidades hídricas das culturas, no entanto, deve estar sempre associada a necessidade de conservação dos recursos hídricos (MAROUELLI et al., 2011; FAO, 2017). Nesse sentido, para suprir a necessidade hídrica, sem déficit e nem excesso, é necessário determinar e utilizar os valores da E_{To} , da E_{Tc} e do K_c , uma vez que são informações primordiais para dimensionar os sistemas de irrigação (MENDOÇA et al., 2007; CHAGAS et al., 2013).

A evapotranspiração da cultura (E_{Tc}), pode ser obtida por meio da evapotranspiração de uma cultura de referência (E_{To}) e corrigida pelo coeficiente da cultura (K_c), coeficiente este, que depende da espécie e de seu estágio de desenvolvimento. A E_{To} , pode ser medida por meio de lisimetria, por sensores de capacitância TDR e FDR, pelo método do Tanque Classe A, e através de equações sustentadas em dados agroclimatológicos, já o K_c é obtido pela razão entre a E_{Tc} / E_{To} (PEREIRA et al., 1997; MENDONÇA et al., 2007; CHAGAS et al., 2013). No tocante aos lisímetros, são estruturas que consistem em uma caixa impermeável, contendo um volume de solo representativo da área a ser avaliada e coberta com a vegetação em estudo. O volume de solo é irrigado periodicamente sendo que a evapotranspiração é obtida pelo resíduo após efetuar o balanço hídrico neste volume de solo (SANTOS et al., 2009).

Por outro lado, os sensores de umidade do solo FDR (Reflectometria no domínio da frequência), baseia-se na medição indireta da umidade através da propriedade de permissibilidade dielétrica do solo, que está relacionada com a quantidade de água no perfil (LEKSHMI et al., 2014). Não obstante, para medições mais precisas, é necessário realizar a calibração dos sensores, de acordo com o tipo de solo, onde vai ser utilizado, em virtude das propriedades eletromagnéticas inerentes a cada tipo de solo, pois a salinidade, temperatura, densidade e conteúdo de argila no solo podem limitar sua utilização (PREVEDELLO et al., 2007)

Outra ação referente à conservação *ex situ* é o emprego de tratamentos culturais, como o uso de cobertura vegetal morta (CVM), pois, segundo Borges et al. (2014), é uma prática muito recomendada, uma vez que contribui para o desenvolvimento das culturas reduzindo a perda de água, diminuindo a erosão superficial e incrementando a umidade do solo.

Na literatura há informação dos valores de K_c para a maioria das culturas anuais e para algumas fruteiras domesticadas (ALLEN et al., 2006). No entanto, trabalhos que tratem da determinação do K_c desde a implantação até seu completo desenvolvimento em fruteiras nativas com alto potencial como o camu-camu, ainda não foram desenvolvidos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Determinar o coeficiente de cultura (Kc) para o manejo da água e domesticação do camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) em terra firme.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar o coeficiente de cultura (Kc) em plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, com e sem cobertura morta, pelo método do lisímetro de drenagem para o manejo da água e domesticação em terra firme;
- Calibrar sensores de umidade do solo 10HS[®] baseados na Reflectometria no domínio de frequência, para o monitoramento da água em Latossolo Amarelo Distrófico;
- Determinar o coeficiente de cultura (Kc) em plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, com e sem cobertura morta, utilizando sensores de umidade do solo 10HS[®] para o manejo da água e domesticação em terra firme.

3. HIPÓTESES

- Os valores de K_c determinados pelos métodos de lisímetro de drenagem e sensores de umidade de solo 10HS[®] são iguais para plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade, com e sem cobertura vegetal morta (CVM), em condições de terra firme.
- Os sensores de umidade de solo 10HS[®] necessitam ser calibrados para o monitoramento da umidade com maior precisão em um Latossolo Amarelo Distrófico.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Cultura do camu-camu

O camu-camu também conhecido como caçari, araçá d'água, urupá, araçá de igapó, camú-camú, (SMIDERLE; SOUSA, 2008), sarão, marajá e azedinha (MAEDA et al., 2006), foi descrito pela primeira vez em 1823 por Humboldt, Bompland e Kunth, como *Psidium dubium* H.B.K. Em 1963, Rogers Mc Vaugh reclassificou a espécie para o gênero *Myrciaria*, passando a chamar-se *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh (SILVA, 2012).

A espécie é típica de clima tropical com precipitação pluvial entre 1700 a 3000 mm ano⁻¹, temperatura média, mínima e máxima de 27 °C, 17 °C e 35 °C, respectivamente, e umidade relativa entre 50% e 95% (ARRUDA et al., 2011). Sua distribuição geográfica é limitada pelos cursos dos rios, estendendo-se desde o estado do Pará nos rios Tocantins e Trombetas, até o Peru, nos rios Amazonas, Ucayali e outros. Na Amazônia Central, segundo Smiderle e Souza (2008), o camu-camu é encontrado no estado do Amazonas, nos rios Javari, Madeira e Negro.

No estado de Roraima, extremo norte do Brasil, há presença de camu-camu próximo à divisa com a Venezuela, nos rios Uraricoera, Tacutu e rio Branco. Também é encontrado próximo ao município de Bonfim no rio Arraia na BR-401, km 110, assim como no rio Urubu, na região da Serra da Lua. Ocorre também nas margens próximas à ponte na fronteira com a Guiana e no rio Cauamé (CHAGAS et al., 2015).

O camu-camu é um arbusto, que alcança uma altura de 3 a 8 metros, podendo ramificar-se desde a base, formando vários ramos secundários, apresentando diversas formas. O formato mais apropriado para produção de frutos é o tipo taça (Unicoleto e muitos ramos secundários) ou tipo coposo (Multicoleto com muitos ramos secundários). A folha varia de ovalada-elíptica a lanceolada, medindo de 4,5 a 12,0 cm de comprimento por 1,5 a 4,5 cm de largura. O ápice é acuminado com base arredondada e bordas ligeiramente onduladas (YUYAMA; VALENTE, 2011).

O fruto é uma baga, de superfície lisa e brilhante, de cor vermelha escura até negra púrpura ao amadurecer, podendo ter de 1,2 a 3, 8 cm de diâmetro, possuindo de 1 a 4 sementes por fruto. O peso médio é de 8,5 g por fruto, variando entre 2 a 18 g. As sementes são reniformes, achatadas, com 8 a 11 mm de comprimento e 5,5 a 11 mm de largura, cobertas por mucilagem de cor branca (YUYAMA; VALENTE, 2011) (Figura 1).

Figura 1. Detalhe da Planta (A), flores (B), frutos maduros (C) e polpa (D) do camu-camu.



O potencial econômico do camu-camu reside no fruto, pois é uma das espécies com mais alto conteúdo de ácido ascórbico (AA), podendo atingir 7.355,20 mg por 100 g de polpa (CHAGAS et al., 2015). Além disso, possui compostos polifenólicos (principalmente flavonoides, antocianinas e catequinas) (NEVES et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016), que ajudam na prevenção de doenças degenerativas ocasionadas pelo excesso de radicais livres no corpo humano (DAMAZIO et al., 2017).

Também, é uma, importante fonte de potássio, ferro, cálcio e fósforo (RIBEIRO et al., 2016), pode ser consumido *in natura* quando o fruto está na última fase de maturação, no entanto, as formas mais usuais de usar a polpa é no preparo de suco, sorvete, picolé, geleia, licor, xarope, xampu, iogurte, entre outros (AKTER et al., 2011); já no Japão, a polpa é transformada em bebidas gaseificadas, sucos concentrados, vinagre, sorvetes, balas, comprimidos, energéticos, cremes, colônias, dentre outros (YUYAMA; VALENTE et al., 2011).

4.2 Avanços na domesticação e conservação do camu-camu

O processo de domesticação e conservação do camu-camu na Amazônia, foi iniciado na década de 70 no Peru (PINEDO et al., 2004), em razão, do alto potencial de uso pelas qualidades nutracéuticas e pelas ações antrópicas do homem que começaram a surgir após a demanda do produto pelo mercado japonês. Outra razão foi a detecção de sua alta vulnerabilidade às causas naturais de alternância do clima, principalmente no incremento da temperatura e nas flutuações das enchentes e mudanças dos cursos dos rios. Nesse sentido, o ato de conservação da espécie foi uma decisão do governo Peruano com o objetivo de dar maior segurança na manutenção do recurso genético e incentivar a produção agrícola para o desenvolvimento econômico e social das populações ribeirinhas e comunidades indígenas da Amazônia Peruana (PINEDO et al., 2004).

Deste modo, foram coletados materiais (sementes e mudas) de populações naturais, e logo foram instalados em condições de terra firme e em solos de várzea por meio da conservação tipo *on farm* (pequenos agricultores e comunidades indígenas). Mais na frente, o Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA e o Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-IIAP, iniciaram os trabalhos de conservação *ex situ*, para o desenvolvimento de programas de pesquisa, relacionados ao melhoramento genético e manejo agrônômico (PINEDO et al., 2004).

No Brasil, a partir de 1980, o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA iniciou a coleção de camu-camu nativo da bacia Amazônica Brasileira, sendo que atualmente possui 160 acessos de camu-camu silvestre de 18 localidades. Além disso, lograram avançar na domesticação através da geração de tecnologias de manejo agrônômico para as condições locais (YUYAMA; VALENTE, 2011). Por outro lado, a Embrapa Amazônia Oriental vem desenvolvendo trabalhos de domesticação através do melhoramento genético, por meio da caracterização e seleção de 30 acessos de camu-camu estabelecidos no Banco de Germoplasma (RIBEIRO; NASCIMENTO; ALMEIDA, 2010)

Em Roraima, a Embrapa/RR em parceria com a Universidade Federal de Roraima/UFRR, no ano 2009 começaram com os trabalhos de domesticação da espécie com atividades de prospecção, caracterização de populações nativas (CHAGAS et al., 2012). Posteriormente, Chagas et al. (2015) caracterizaram a variabilidade agrônômica de populações nativas de camu-camu. Paralelamente, Almeida et al. (2014) avaliaram o desenvolvimento vegetativo de 6 subamostras de camu-camu em área de transição Savana/floresta. Em seguida Bardales et al. (2016) avaliaram a divergência genética com base nas características iniciais das

mudas produzidas com sementes provenientes das populações selecionadas de camu-camu, e recentemente Sakazaki (2019) avaliou a diversidade genética, adaptabilidade e desenvolvimento inicial de 56 clones de camu-camu em área de transição Savana/floresta no município de Mucajaí em Roraima.

4.3 Importância da irrigação para as culturas agrícolas

A irrigação é praticada desde as antigas civilizações que se desenvolveram em regiões secas, como no Egito e na Mesopotâmia. No Brasil, início entre o fim do século XIX e o início do século XX nas lavouras de arroz do Rio Grande do Sul. A expressiva intensificação da atividade em outras regiões do país ocorreu a partir das décadas de 1970 e 1980 (ANA, 2019). A área plantada pela agricultura brasileira chegou a 55,4 milhões de hectares (CONAB, 2013), sendo que a área irrigada é responsável por cerca 11,8% da área plantada, ou seja, aproximadamente 6,95 milhões de hectares (ANA, 2019).

A irrigação, bem planejada e executada, possibilita o aumento da produção das culturas, o uso eficiente da água, a atenuação de riscos climáticos/meteorológicos e a otimização de insumos e equipamentos. A irrigação também é fundamental para o aumento e a estabilidade da oferta de alimentos e consequente aumento da segurança alimentar e nutricional da população brasileira (ANA, 2019).

4.4 Balanço hídrico no solo (BHS)

O BHS é a somatória da quantidade de água que é adicionada, armazenada e retirada do solo na produção agrícola, e é utilizado para estimar a quantidade de água que a cultura necessita em seu desenvolvimento e a quantidade líquida que permanecerá disponível. De acordo com Libardi (1995), o método do BHS avalia, em determinado período de tempo os vários processos de fluxo da água em um volume de solo, através da precipitação pluvial (P), da irrigação (I), orvalho (O), drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), ESS (escoamento sub-superficial de ingresso (ESSi) e saída (ESSs)), variação no armazenamento da água no solo (ΔARM), escoamento superficial de ingresso (ESi) e saída (ESs) e da evapotranspiração (ETc, mm) (Figura 2). O BHS é calculado segundo a equação (Eq. 1).

$$\Delta ARM = P + I + ESi + O + ESSi + AC - (ETc (T+E) + ESs + ESSs + DP) \quad (\text{Eq. 1})$$

Alguns desses fluxos são de difícil medida, como DP e AC; outros, como ESS e O, podem ser considerados desprezíveis no balanço total, o mesmo acontecendo com ES em certas

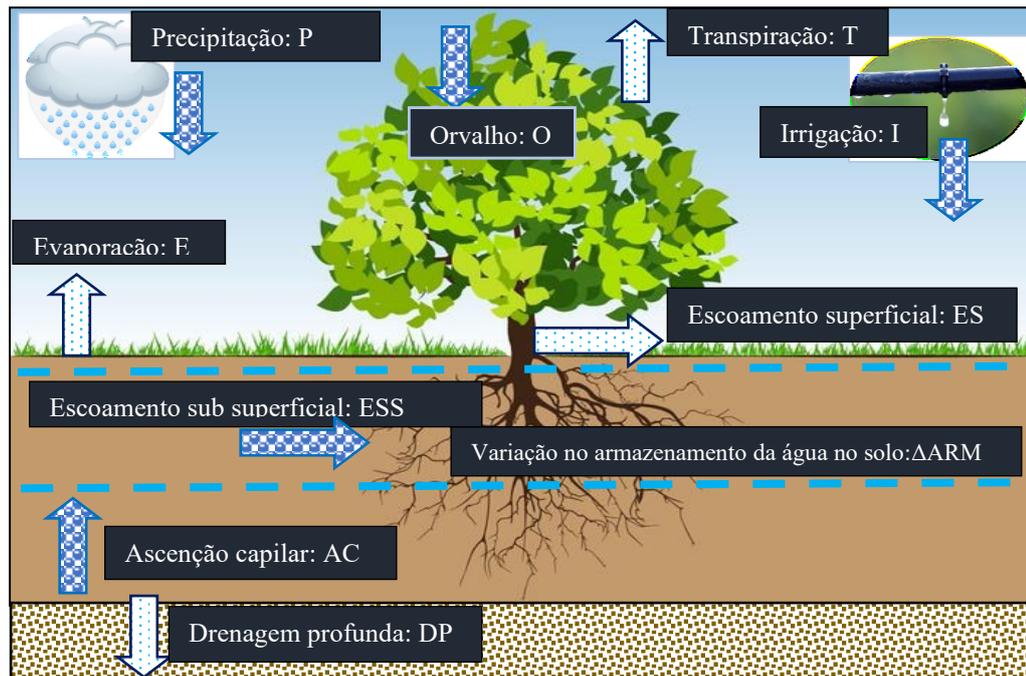
circunstâncias, de modo que uma equação (Eq. 2) mais simples pode ser usada nessas condições:

$$\Delta\text{ARM} = P + I + AC - \text{ETc} - \text{DP} \quad (\text{Eq. 2})$$

ΔARM : variação no armazenamento da água no solo (ΔARM)

P: precipitação pluvial, I: irrigação, AC: ascensão capilar, ETc: evapotranspiração da cultura, DP: drenagem profunda.

Figura 2. Esquema representativo do balanço hídrico no solo.



4.5 Evapotranspiração (ET)

A evapotranspiração (ET) é a combinação da evaporação (E) e a transpiração (T). A evaporação é o processo físico em que um líquido passa para o estado gasoso (vapor). O vapor de água presente na atmosfera é oriundo de lagos, rios, oceanos, do solo, vegetação, evaporação do orvalho e da chuva interceptada pela superfície. E a transpiração é a perda de água por evaporação que ocorre nas plantas e animais. Por ocorrer em um meio biológico, a evaporação neste caso, é denominada de transpiração. Nos vegetais, a transpiração ocorre predominantemente nas folhas (ALLEN et al., 2006).

4.6 Evapotranspiração da cultura (ETc)

É a quantidade de água consumida por uma cultura sem restrição hídrica em qualquer fase de seu desenvolvimento. A cultura deve ser bem conduzida agronomicamente para que o

consumo de água ocorra conforme o potencial evapotranspirativo de cada fase. Portanto, a ET_c pode ser entendida como sendo a evapotranspiração potencial que ocorre em cada fase de desenvolvimento da cultura. O conhecimento da ET_c é fundamental em projetos de irrigação, pois ela representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e desenvolvimento em condições ideais (DOORENBOS; PRUITT, 1977).

4.7 Evapotranspiração de referência (ET_o)

A ET_o foi definida por Doorenbos; Pruitt (1977) como, a água utilizada por uma extensa superfície de grama, em crescimento ativo, com altura entre 0,08 a 0,15 m, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. Jensen et al. (1990) afirmaram que a ET_o pode ser definida como “a taxa com que a água, quando disponível, é removida da superfície do solo e de uma cultura específica”. A ET_o é normalmente expressa como taxa de calor latente por unidade de área ou lâmina de água evaporada.

Sobre o cálculo da ET_o , Alves Sobrinho et al. (2011) afirmam que pode ser obtida por meio de métodos diretos, como a utilização de lisímetros e pelo método do Tanque Classe A (DOORENBOS e PRUITT, 1977), e indiretos, utilizando modelos físico-matemáticos de estimativa, como os modelos de Thornthwaite, Camargo, Hargreaves Samani, Priestley-Taylor e Penman-Monteith. Em relação aos métodos indiretos, o de Penman-Monteith/FAO é considerado como o mais apropriado para a estimativa da ET_o , sendo adotado como padrão. Além disso, este método, procura representar de maneira consistente, o fenômeno biofísico da evapotranspiração, é alimentado por quase todos os elementos meteorológicos observados em estações meteorológicas de superfície (CARVALHO et al., 2011).

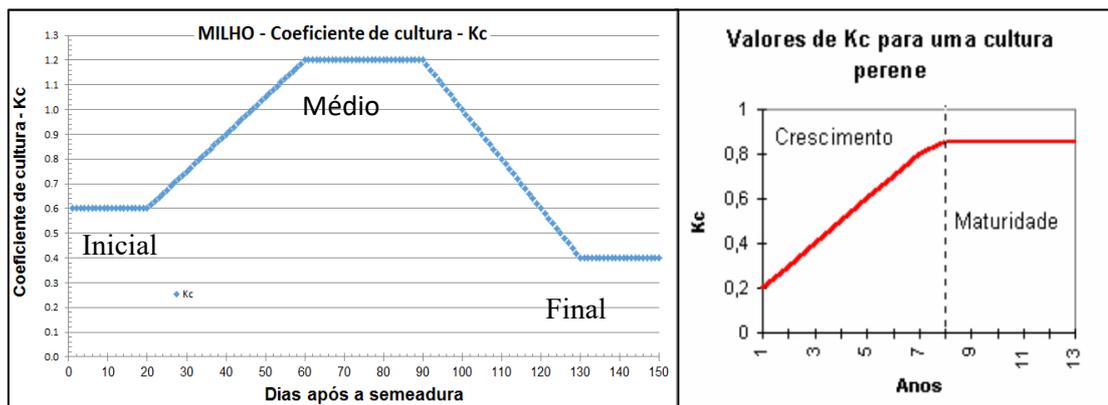
4.8 Coeficiente de cultura (K_c)

O coeficiente de cultura (K_c) é determinado pela razão entre ET_c e ET_o , e representa o indicativo do consumo e a necessidade real de água de uma cultura em particular durante todo o seu ciclo, constituindo-se, portanto, em um elemento imprescindível para outorgar, dimensionar de forma mais racional os projetos e manejo da irrigação (SILVA et al., 2006).

O K_c varia segundo as características específicas e estádios fenológicos da cultura e das mudanças climáticas do local, sendo, em menor escala a variação pelos elementos climáticos, este fato torna possível a transferência de valores de K_c de um local para outro de diferentes condições climáticas. O K_c pode variar com a textura e o teor de água do solo, com a profundidade e densidade radicular, com a idade e estágio de desenvolvimento da cultura,

assim como também dos tratos culturais adotados. Para as culturas de ciclo curto, o valor de Kc aumenta desde um valor mínimo na germinação, até um valor máximo quando a cultura atinge seu pleno desenvolvimento, e decresce a partir do início da maturação. Para as culturas perenes o Kc quando chega ao valor máximo este permanece constante com pequenas variações ao longo do tempo (ALLEN et al., 2006) (Figura 3).

Figura 3. Curva dos coeficientes culturais para culturas anuais e perenes.



4.9 Lisímetros de drenagem

Lisímetro de drenagem é um equipamento que consiste em uma caixa impermeável fixa no solo, contendo um volume de solo representativo da área a ser avaliada e coberta com a vegetação a ser estudada. O volume de solo é irrigado periodicamente sendo que a evapotranspiração será obtida pelo resíduo após efetuar o balanço hídrico neste volume de solo (PEREIRA et al., 2002). Os lisímetros, quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da evapotranspiração (ET), principalmente quando eles são preenchidos corretamente, pois, dessa forma, as camadas de solo no seu interior assemelham-se o máximo possível às camadas de solo da área externa (SILVA, 2003).

4.10 Reflectometria no domínio da frequência (FDR)

Entre os métodos indiretos para a determinação da umidade do solo, destaca-se a utilização da técnica FDR (Reflectometria no Domínio de Frequência), que é um método baseado na medição indireta da umidade através da propriedade de permissividade dielétrica do solo, que por sua vez está relacionada com a quantidade de água no solo (LEKSHMI et al., 2014). A propriedade de permissividade dielétrica está relacionada com a capacidade de um

material reter cargas elétricas. Nesse sentido, quanto maior for a constante dielétrica, melhor capacitor a substância será, e mais cargas poderá armazenar. Numa escala de 1 a 80; o ar, o solo mineral, a matéria orgânica, o gelo e a água têm uma permissividade dielétrica de 1; 7; 5;5 e 80, respectivamente. Por esta razão, os sensores conseguem medir o teor de água, pois é o componente no solo que mais varia em volume e em pequenos espaços de tempo (MARKEVICIUS et al., 2012).

A medição do teor de água no solo por meio de sensores de capacitância está em crescente utilização devido aos seguintes vantagens: não são métodos destrutivos, fornecem medições quase instantâneas (fração de segundos), requerem pouca ou nenhuma manutenção, podem permanecer no solo durante um longo período, são capazes de fornecer leituras contínuas e não é empregada radiação, o que permite medições precisas próximo à superfície do solo (SILVA et al., 2012). No entanto, para medições mais acuradas, é necessário realizar calibrações para os diferentes tipos de solos, em virtude das propriedades eletromagnéticas inerentes a cada classe de solo, uma vez que a salinidade do solo, temperatura, densidade e teor de argila podem limitar sua utilização (PREVEDELLO et al., 2007). Salienta-se que as calibrações podem ser realizadas em condições de laboratório, utilizando amostras de solo indeformadas, já que essas preservam as características de estrutura, densidade e aeração, como em sua forma original (BARBOSA, 2011).

3.11 Cobertura vegetal morta

A prática de cobertura do solo com material de origem vegetal é antiga e objetiva proteger os cultivos e o solo da ação de agentes atmosféricos, que podem provocar a sua compactação, aumentar as perdas hídricas e causar a lixiviação dos nutrientes do ambiente radicular das plantas. A cobertura morta pode influenciar positivamente nas qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, bem como a diminuição da perda de água por evaporação, por reduzir as oscilações térmicas, provendo condições mais adequadas para o crescimento radicular, desenvolvimento e produção das culturas (MURUNGU et al., 2011; LI et al., 2013).

4.12 Fases e estádios fenológicos do camu-camu

De acordo com a idade das plantas de camu-camu, estas foram classificadas em fases e em estádios fenológicos. Deste modo, as plantas com 2 e 3 anos foram consideradas na fase de FI de desenvolvimento vegetativo em formação com até 10% da cobertura do solo pela

planta, sendo observado os estádios fenológicos de desenvolvimento de folhas, emissão e formação de brotos laterais e crescimento longitudinal e lateral dos caules basais e secundários.

As plantas com 4 e 5 foram consideradas na fase FII de desenvolvimento vegetativo (plantas formadas com até 80% da cobertura do solo pela planta) e as plantas com 6 e 7 anos foram consideradas na fase FIII de desenvolvimento reprodutivo, onde foi observado os estádios fenológicos de emergência das inflorescências, floração, desenvolvimento dos frutos, maturação de frutos, repouso dos ramos e queda de folhas, além disso as plantas apresentaram 95% de cobertura do solo pela planta e não 100%, pois a copa é rala e facilita a entrada de luz (PINEDO et al., 2001; YUYAMA: VALENTE, 2011).

4.13 Profundidade efetiva do sistema radicular

A profundidade efetiva do sistema radicular é a camada de solo explorada efetivamente pelas raízes, ou seja, compreende a camada desde a superfície até onde se concentra a maior parte das raízes absorventes. Deste modo, França Junior (2003); Smit et al. (2000); Cunha et al. (2010) consideram que a profundidade efetiva do sistema radicular é onde concentra-se pelo menos o 80% do total das raízes absorventes da cultura estudada.

Nesse sentido, Calgaro et al. (2012) reportaram que a profundidade efetiva de raízes da cultura da acerola (*Malpighia glabra*) em produção é de 0,6 m. Também, Neves et al. (2000) verificaram que a profundidade efetiva do sistema radicular variou de 0,50 a 0,69 m, para três variedades de acerola (*Malpighia glabra*). Para a cultura de bananeira (*Musa spp*), Santana et al. (2012) reportaram que o 80% da predominância do sistema radicular encontra-se a 0,61 m. Para a cultura da goiabeira (*Psidium guajava*), Bassoi et al. (2001) determinaram que cerca de 80% de todo o sistema radicular encontra-se aos 0,4 m aos 3 meses, 0,6 m aos 6 e 9 meses, e 0,8 m aos 12, 18 e 34 meses. Para citrus de 4,5 anos de idade, Davoglio Junior et al. (2006) constataram que a profundidade efetiva do sistema radicular variou de 0,57 a 0,63 m, e para café arábica (*Coffea arabica*) fertirrigada por gotejamento, Barreto et al. (2006) verificaram que o sistema radicular efetivo situava-se entre 0,63 m e 0,70 m.

4.14 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985-2017)** / Agência Nacional de Águas, Embrapa Milho e Sorgo. - 2. ed. - Brasília: ANA, 2019, 47 p.

- AKTER, S.; OH, S.; BANG, J.; AHMED, M. Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1728–1732. 2011.
- ALLEN, R. G. PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Estudio FAO riego y drenaje, 56. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma, 2006. 201 p.
- ALMEIDA, L. F. P.; YUYAMA, K.; CHAGAS, E. A.; LOZANO, R. M. B.; ALBUQUERQUE, T. C. S.; RODRIGUEZ, C. A.; QUEIROZ, F. B. Early Evaluation of Camu-Camu Subsamples in Transition Savanna/Forest Area. **Jornal Agricultural Science**. v. 6, p. 178-186. 2014.
- ARRUDA, A. S.; LIMA, R. G. de; SILVA, R. M.; PEIXOTO, N. Desenvolvimento do camu-camu (*Myrciaria dubia*) em diferentes substratos nas condições de Ipameri-GO. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1-7, 2011.
- BARBOSA, M. A. G. **Calibração e uso de sensores FDR para determinação da umidade e salinidade em dois tipos de solos**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, 2011, 90 p.
- BARDALES, L.R.M.; CHAGAS, E.A.; SMIDERLE, O.; ABANTO-RODRIGUEZ, C.; CHAGAS, P.C.; MOTA FILHO, A.B.; SOUZA, O.M.; CORDEIRO, A.C.C. Genetic Divergence among camu-camu Plant Populations Based on the Initial Characteristics of the Plants. **Jornal Agricultural Science**. v. 8, p. 51-58, 2016.
- BORGES, T.K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; DOS SANTOS, T.E.M.; SILVA, D, D.; PAULA, V.; SILVA JUNIOR. **Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*zea mays l.*) em semiárido nordestino**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1862-1873, 2014.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.
- CHAGAS, E. A. LOZANO, R. M. B.; CHAGAS, P. C.; BACELAR-LIMA, C. G.; GARCIA, M. ISABEL R.; OLIVEIRA, J. V.; SOUZA, O. M.; MORAIS, B. S.; ARAÚJO, M. C. R. Intraspecific variability of camu-camu fruit in native populations of northern Amazonia. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, n. 4, p. 265-271, 2015.
- CHAGAS, E. A.; CARVALHO, A. dos S.; BACELAR-LIMA, C. G.; DUARTE, O. R.; NEVES, L. C.; ALBUQUERQUE, T. C. S. **Ocorrência e distribuição geográfica de populações nativas de camu-camu no estado de Roraima**. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2012.
- CHAGAS, R. M.; FACCIOLI, G. G.; AGUIAR NETTO, A. de O.; SOUSA, I. F. de; VASCO, A. N. do; SILVA, M. G. da. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration (ET_o) for the city of rio Real-BA. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 351-363, 2013.
- CLEMENT, C. R.; FREITAS, F. O.; ROMÃO, R. L. In: VEIGA, R. F. A. & QUEIRÓZ, M. A (Eds.). **Recursos fitogenéticos: a base da agricultura sustentável no Brasil**. Editora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 30-38, 2015.
- COELHO, E.F.; PINTO, J. M. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF. Embrapa, 2011.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quarto levantamento: 2012/2013**. Brasília, DF, 2013.
- DAMAZIO, L.S.; SILVEIRA, F.R.; CANEVER, L.; DE CASTRO, A.A.; ESTRELA, J.M.; BUDNI, J.; ZUGNO, A.I. The preventive effects of ascorbic acid supplementation on locomotor and acetylcholinesterase activity in an animal model of schizophrenia induced by ketamine. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 2, p. 1133-1141, 2017.

- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 2nd ed. Rome: FAO Irrigation and Drainage paper, 24, 1977. 179 p.
- FAO. **Organização das nações Unidas para a alimentação e agricultura**, 2017. Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias, Brasília, 243 p.
- JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. (Manuals and reports on engineering practice, n. 70).
- LEKSHMI, S. U.; SINGH, D. N.; BAGHINI, M.S. A critical review of soil moisture measurement, **Measurement**, v. 54, p. 92–105, 2014.
- LI, R.; HOU, X. Q.; JIA, Z. K.; HAN, Q. F.; REN, X. L.; YANG, B. P. Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau. China. **Agric. Water Manage.** v. 116, p. 101–109, 2013.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: ESALQ/USP. 1995. 497 p.
- LOURENÇO, E.R.C.L. **Consumo hídrico da cultura do gergelim na região da chapada do apodi -RN**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. 56 f, 2016.
- MACHADO, R. E. **Desenvolvimento e Utilização de um Lisímetro para a Determinação da Evapotranspiração de Referência**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1996, 93 p.
- MAEDA, R. N.; PANTOJA, L.; YUYAMA, L. K. O.; CHAAR, J. M. Determinação da formulação e caracterização do néctar de camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh). **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 26, v. 1, p. 70-74, 2006.
- MARKEVICIUS, V.; NAVIKAS, D.; VALINEVICIUS, A.; ANDRIUKAITIS, D.; CEPENAS, M. The Soil Moisture Content Determination Using Interdigital Sensor. **Elektronika Ir Elektrotechnika**, v. 18, n. 10, p. 25-28, 2012.
- MARQUELLI, W.A.; OLIVEIRA, A.S.; COELHO, E.F.; NOGUEIRA, L.C.; SOUSA, MENDOÇA, 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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 471–475, 2007.
- MURGA-ORRILLO, H.; ARAÚJO, W. F.; ROCHA, P.R.R.; SAKAZAKI, R. T.; DIONISIO, L.F.S.; POLO-VARGAS, A.R. Evaporação e coeficiente de cultivo do feijão caupi cultivado em solo do cerrado submetido à cobertura morta. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 172-187, 2016.
- MURUNGU, F.S.; CHIDUZA, C.; MUCHAONYERWA, P.; MNKENI, P.N.S. Mulch effects on soil moisture and nitrogen, weed growth and irrigated maize productivity in a warm-temperate climate of South Africa. **Soil & Tillage Research**, v. 112, n. 1, p. 58-65, 2011.
- NEVES, L.; XAVIER, V.; ALVES, J.; FLACH, A.; RUFFO, S. Bioactive compounds and antioxidant activity in pre-harvest camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh] fruits, **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 223-229, 2015.
- PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p
- PEREIRA, A.R.; SANTIAGO, A.V.; MAGGIOTO, S.R.; FOLEGATTI, M.V. Problemas operacionais com lisímetros de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 51-6, 2002.
- PINEDO, M.P.; PAREDES, D.E.; ABANTO, R.C. Rescate de recursos genéticos ante la contaminación ambiental; caso del camu-camu (*Myrciaria dubia*) en la Amazonía Peruana. Actas del Congreso Virtual: Desarrollo Sustentable y Desafíos ambientales “Pensando alternativas para el abordaje ambiental”, Centro Boliviano de Estudios Multidisciplinarios, 2019, 18 p.
- PINEDO, P. M.; DELGADO, V.C.; FARROÑAY, P.R.; IMÁN, C.S.; VILLACRÉS, V.J.; FACHING, M.L.; OLIVA, C.C.; ABANTO, R.C.; BARDALES, L.R.; VEGA, V.R. **Camu-**

- Camu (*Myrciaria dubia*- Myrtaceae): Aportes para su Aprovechamiento Sostenible en la Amazonia Peruana.** Iquitos, FINCyT. 2010, 130 p.
- PINEDO, P.M.; LINARES, B.C.; MENDOZA, H.; ANGUIZ, R. **Plan de Mejoramiento Genético de Camu-camu.** Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana-IIAP. Iquitos. Peru, 2004, 52 p.
- PREVEDELLO, C.L.; MAGGIOTTO, S.R.; LOYOLA, J. M. T.; DIAS, N. L.; BEPPLER NETO, G. Balanço de água por aquisição automática de dados em cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 2-8, 2007.
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação.** Londrina: E. P., 2005, 327 p.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.** 4ª. Ed. Ver. E ampliada. Campinas, Fundação Cargil, 1985. 445 p.
- RIBEIRO, O.D.; NASCIMENTO, W. M. O.; ALMEIDA, E. G. L. **Caracterização morfológica de plantas em acessos de camucamuzeiro do Banco de germoplasma da Embrapa Amazônia Oriental.** EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, B.-P. 14º Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA: Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, 2010, 4 p.
- RIBEIRO, P, F, A.; STRINGHETA, P. C.; OLIVEIRA, E. B.; MENDONÇA, A. C.; SANTANA, H. M. P. Teor de vitamina C, β -caroteno e minerais em camu-camu cultivado em diferentes ambientes. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 567-572, 2016.
- ROCHE, L.; DOUROJEANNI. **Manual sobre la conservación *in situ* de los recursos genéticos de espécies leñosas tropicales.** Roma, FAO, D. R F. 1984, 96 p.
- SAKAZAKI, R. T. **Diversidade genética e desenvolvimento inicial de clones de camucamuzeiro em condições de transição savana/floresta em Roraima.** Tese de Doutorado, programa de Pós-graduação em Agronomia, POSAGRO, UFRR. 2019, 61 p.
- SANTOS, F. X.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, J. R. SOUZA, E. R. Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 3, p. 304-310, 2009.
- SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA JÚNIOR, J. J.; COLOMBO, A.; LIMA, J. M. I. Acurácia e calibração de sonda de capacitância em Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 277-286, 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**, v. 11, n. 1, p. 26-35, 2006.
- SILVA, L.D.B. **Evapotranspiração do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq) e grama-batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem.** 2003. 93 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SILVA, S.C. **O Gênero *Myrciaria* O. Berg (MYRTACEAE) na Amazônia brasileira.** 2012. 56p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.
- SMIDERLE, O. J.; SOUSA, R. C. P. Teor de vitamina C e características físicas do camu-camu em dois estádios de maturação. **Revista Agro@ambiente-On-line**, v.2, n.2, p.61-63, 2008.
- YUYAMA, K.; VALENTE, J. P. *Camu-Camu Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh. 1.ed. Curitiba-Brasil: CVR, INPA, 2011, 216 p.

5. CAPÍTULO I. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (K_c) POR MEIO DE LISÍMETROS DE DRENAGEM, COM E SEM COBERTURA VEGETAL MORTA, PARA O MANEJO DA ÁGUA E DOMESTICAÇÃO DO CAMU-CAMU EM TERRA FIRME

5.1 RESUMO

Na domesticação e conservação dos recursos genéticos, a irrigação é essencial, porém, para outorgar a quantidade de água adequada, as necessidades hídricas desde a implantação até seu completo desenvolvimento têm que ser estudadas. Nesse sentido, objetivou-se determinar o coeficiente de cultura (K_c) do camu-camu por meio de lisímetros de drenagem, com e sem cobertura vegetal morta (CVM), para o manejo da água e domesticação em terra firme. Para determinar o K_c, foi necessário estimar a Evapotranspiração de referência-ET_o pelo método de Penman-Monteith/FAO, e a Evapotranspiração da cultura-ET_c pelo método do balanço hídrico. Na fase FI de formação e desenvolvimento vegetativo, na fase FII de pleno estabelecimento, e na fase FIII de máxima frutificação das plantas de camu-camu, com e sem CVM, foram determinados que os valores de K_c variaram de 0,4 a 0,7; de 0,6 a 0,8; e de 1,2 a 1,6, respectivamente. Concluiu-se que os valores de K_c apresentados podem ser utilizados como referência para o manejo da água e domesticação do camu-camu até os 6 anos de idade em terra firme, porém recomenda-se outro método de estimativa para as plantas com 7 anos, pois os lisímetros ficaram pequenos para comportar o desenvolvimento do sistema radicular, além disso, o consumo de água pelas plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade sem CVM foi 25,1; 20,1; 22,3; 19,9; 13,8; e 11,8% superior as plantas com CVM.

Palavras-chave: *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh; Evapotranspiração; Caçari; Cobertura vegetal morta; Balanço hídrico.

CHAPTER I. DETERMINATION OF THE CROP COEFFICIENT (K_c) THROUGH DRAINING LYSIMETERS, WITH AND WITHOUT VEGETABLE MULCH, FOR THE MANAGEMENT OF WATER AND DOMESTICATION OF CAMU-CAMU ON UPLANDS

ABSTRACT

In the domestication and conservation of genetic resources, irrigation is essential, however, in order to grant the adequate amount of water, hydric needs from implantation to its complete development have to be studied. In this sense, the objective was to determine the crop coefficient (K_c) of camu-camu through drainage lysimeters, with and without vegetable mulch (VM), for water management and domestication on uplands. To determine the K_c, it was necessary to estimate the reference evapotranspiration-E_{To} by the method of Penman-Monteith/FAO, and the evapotranspiration of the culture-E_{Tc} by the method of hydric balance. In the FI phase of formation and vegetative development, in the FII phase of full establishment, and in the FIII phase of maximum fruiting of the camu-camu plants, with and without VM, it was determined that the K_c values varied from 0.4 to 0.7; from 0.6 to 0.8; and from 1.2 to 1.6, respectively. It was concluded that the K_c values presented can be used as a reference for water management and domestication of camu-camu up to 6 years of age on uplands, however another method of estimation is recommended for plants with 7 years of age, as the lysimeters were too small to support the development of the root system, in addition, water consumption by camu-camu plants with 2, 3, 4, 5, 6 and 7 years of age without VM was 25.1; 20.1; 22.3; 19.9; 13.8; and 11.8% higher than plants with VM.

Key words: *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh; Evapotranspiration; Hydric balance; Caçari; Vegetable mulch.

5.2 INTRODUÇÃO

O camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh) é uma espécie amazônica considerada uma superfruta por possuir alta concentração de vitamina C e flavonóides como ácidos elágico, elagitaninas e proantocianidinas (FRACASSETTI et al., 2013; LANGLEY et al., 2015). Além disso, Chirinos et al. (2010) identificaram a presença de catequina, delphinidina 3-glucósido, cianidina 3-glucósido, e rutina. Por esta razão, Souza et al. (2013); Neves et al. (2015); Anhê et al. (2019) referem que camu-camu devido à alta capacidade antioxidante tem benefícios à saúde.

É uma planta que se desenvolve nas margens dos rios, lagos e igarapés, onde recebe fertilização natural dos depósitos de sedimentos, que são carregados nos períodos das enchentes, mas, devido ao grande potencial de mercado, instituições de pesquisa do Peru e Brasil vêm desenvolvendo estudos com a finalidade de conservar e domesticar a espécie em ecossistemas diferentes ao original (CHAGAS et al., 2015; ABANTO-RODRIGUEZ et al., 2019).

No Peru, a demanda crescente de camu-camu ocasionou níveis intensos de extração da espécie do meio natural, o qual tornou-se num risco de erosão genética e impactos negativos sobre outras espécies de flora e fauna (PINEDO et al., 2004). No estado de Roraima, extremo norte do Brasil, a ocorrência de populações nativas de camu-camu é significativa. Porém, grande parte dessa ainda continua desconhecida e com risco de ser perdida pela construção de usinas para a geração de energia elétrica, diminuição dos agentes polinizadores pelo desmatamento das florestas, mudanças nos níveis das enchentes por efeito das mudanças climáticas, e ataque de pragas e doenças.

Portanto, estratégias de domesticação e conservação da espécie tem que ser desenvolvidas com a finalidade de ser utilizada no presente e no futuro em favor da sociedade. A conservação *ex situ* implica proteger a espécie em jardins botânicos, arboretos, bancos de sementes e bancos de “germoplasma” (PRIMACK; RODRIGUES, 2006). No entanto, todo o processo de estabelecimento e manutenção do recurso genético precisa de atos permanentes do homem para garantir a domesticação, adaptabilidade e produtividade em condições edafoclimáticas diferentes ao natural (ROCHE; DOUROJEANNI, 1984; CLEMENT et al., 2015).

Dentre as ações ligadas à domesticação a prática de irrigação é muito importante para o desenvolvimento das plantas, porém, deve estar sempre associada a necessidade de conservação dos recursos hídricos (FAO, 2017). Nesse sentido, para suprir a necessidade

hídrica na medida certa, sem déficit, nem excesso, é necessário determinar e utilizar os valores da Evapotranspiração de referência (ET_o), da evapotranspiração da cultura (ET_c) e do coeficiente de cultura (K_c), uma vez que são informações primordiais para dimensionar os sistemas de irrigação (MENDOÇA et al., 2007; CHAGAS et al., 2013).

A ET_c , é obtida por meio da evapotranspiração de uma cultura de referência (ET_o) e corrigida pelo K_c , coeficiente este que depende da cultura utilizada e de seu estágio de desenvolvimento (CHAGAS et al., 2013). A ET_o , pode ser medida por meio de lisimetria, por sensores de capacitância, pelo método do Tanque Classe A, e através de equações sustentadas em dados agroclimatológicos, já o K_c é obtido pela razão ET_c/ET_o (PEREIRA et al., 1997). Os lisímetros são equipamentos que consistem em uma caixa impermeável alocada no solo, contendo um volume de solo representativo da área a ser avaliada e coberta com vegetação a ser estudada. O volume de solo é irrigado periodicamente sendo que a evapotranspiração é obtida pelo resíduo após efetuar o balanço hídrico (SANTOS et al., 2009).

Adicionalmente, o uso de cobertura vegetal morta (CVM), é uma prática muito recomendada uma vez que contribui para o desenvolvimento das culturas reduzindo a perda de água, diminuindo a erosão superficial e incrementando a umidade do solo (BORGES et al., 2014). Assim, Murga-Orrillo et al. (2016) constataram que o uso de cobertura morta com restos vegetais no feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) reduziu o consumo de água em 19,4%, em relação ao solo sem cobertura. E Albuquerque (2015) reportou que a utilização de cobertura morta no cultivo da goiabeira (*Psidium guajava*) traz lhe benefícios quanto a retenção de água nas camadas próximas à superfície do solo.

Allen et al. (2006), apresentam o K_c e a ET_c para a maioria das culturas anuais e para fruteiras domesticadas, no entanto, trabalhos que tratem da estimativa do K_c desde a implantação até seu completo desenvolvimento em fruteiras nativas com alto potencial como o camu-camu, ainda não foram desenvolvidos. Nesse contexto, com a finalidade de se obter informações quanto à necessidade hídricas das plantas de camu-camu em suas diferentes fases de desenvolvimento, objetivou-se determinar o coeficiente de cultura (K_c) através de lisímetro de drenagem para o manejo da água na domesticação do camu-camu em solos de savana.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

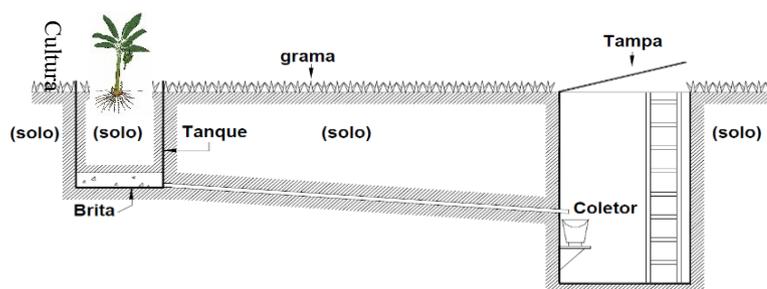
A pesquisa foi conduzida durante o período junho de 2017 a junho de 2019 na área experimental do setor de fruticultura, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima, Campus Cauamé, Município de Boa Vista, RR, localizada nas coordenadas geográficas de referência: 2° 52' 17" N; 60° 42' 46" W e altitude de 90 m.

O clima da região é do tipo Aw segundo a classificação Climática de Köppen (ALVARES et al., 2013), se caracteriza por ser tropical chuvoso, quente úmido e com estação seca bem definida. A estação seca prolonga-se de setembro a março, sendo os meses de janeiro, fevereiro e março os de maiores déficits hídricos, e a estação chuvosa tem início em abril e estende-se até setembro, com maiores concentrações de chuvas nos meses de maio, junho e julho, sendo a precipitação média anual cerca de 1700 mm (ARAÚJO et al., 2001). O solo foi caracterizado como um Latossolo Amarelo Distrófico, textura média e densidade média de 1,5 g cm⁻³ na profundidade de 0 a 50 cm (VENÂNCIO, 2013).

Instalação de Lisímetros de drenagem

Na área experimental, 6 lisímetros de drenagem (Figura 4) separados a uma distância de 6 m foram instalados, cada lisímetro teve uma área de borda circular de 1,60 m², profundidade de 0,70 m e 1 m³ de volume. Na instalação, as camadas do solo no interior dos lisímetros foram semelhantes às camadas do solo da área experimental (MIRANDA et al., 2016). A pesquisa foi desenhada de tal maneira que cada lisímetro atendesse individualmente a uma única planta de camu-camu.

Figura 4. Lisímetro de drenagem utilizado para determinar a evapotranspiração da cultura (ETc) das plantas de camu-camu em diferentes idades.



Transplante das plantas de camu-camu nos lisímetros

Antes do transplante das plantas de camu-camu para os lisímetros foram realizadas a calagem e a adubação, segundo as recomendações de Viegas et al. (2004). Além disso, foi incorporado 5 kg de esterco de galinha curtido como fonte de matéria orgânica. Seguidamente, duas plantas com 2, 4 e 6 anos de idade com características morfológicas semelhantes em altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa e número de ramos foram transplantadas. As plantas com 2 anos de idade foram provenientes do viveiro de mudas da Embrapa/RR, produzidas via propagação vegetativa por estaca. As outras plantas com 4 e 6 anos de idade também foram produzidas pelo mesmo método e foram obtidas dos campos experimentais Água Boa e Serra da Prata, ambos pertencentes a mesma empresa de pesquisa. A obtenção, transporte e transplante das plantas de camu-camu são apresentadas na Figura 5, e o estabelecimento e desenvolvimento na Figura 6.

Em seguida, após o transplante, em uma planta de cada idade, foi colocada cobertura vegetal morta (CVM) composta de resíduos de capim *Trachypogon plumosus* que foi coletado do perímetro da área experimental. A área coberta pela CVM correspondeu à mesma do lisímetro, e a espessura foi de 15 cm. Devido à decomposição da CVM ao decorrer do tempo, esta foi repostada a cada cinco meses.

Tratos culturais

Durante a condução da pesquisa, mensalmente foi realizada a remoção manual das ervas daninhas dentro dos lisímetros, e na área experimental foram controladas com o uso de máquina roçadeira. Cada três meses foi realizada adubação, segundo a idade das plantas, seguindo as recomendações de Viegas et al. (2004), com a finalidade de repor os nutrientes que foram perdidos durante a drenagem da água nos lisímetros. Além disso, em todas as plantas foi feita a remoção dos brotos ladrões com tesoura de poda e manualmente foi controlado o aparecimento de cochonilhas, e nas plantas com 2 e 6 anos de idade foram realizadas podas de formação e frutificação, respectivamente.

Figura 5. Detalhe da obtenção (1), transporte (2) e transplântio (3) das plantas de camu-camu com 4 e 5 anos de idade.



Figura 6. Desenvolvimento vegetativo das plantas de camu-camu de diferentes idades nos lisímetros de drenagem: (1a, 1b - 2 anos); (2a, 2b - 4 anos); (3a, 3b - 6 anos), com e sem cobertura vegetal morta.



Manejo da irrigação

No campo, a cultura do camu-camu foi irrigada por aspersão convencional utilizando aspersores da Asperjato Junior com dois bocais (preto e vermelho), que originalmente operavam a pressão de serviço de 2 bar e vazão de 750 l/h e um raio de alcance de 13 m. Para as condições de trabalho retirou-se o bocal de cor vermelha resultando numa pressão de serviço de 1 bar, vazão de 1800 l/h e raio de alcance de 9 m (Figura 7). O turno de rega foi a cada 4 dias e feita nos finais da tarde, em horas tarde de menor velocidade do vento para diminuir à deriva da irrigação.

No entanto, à medida que as plantas se estabeleceram foi verificado que as plantas com 4 e 6 anos de idade consumiram maior quantidade de água. Nesse sentido, foi aplicada uma lâmina de irrigação diferente para cada idade com a finalidade de evitar o estresse hídrico.

Figura 7. Sistema de irrigação por aspersão convencional na área experimental de camu-camu



A lâmina de irrigação aplicada ao longo do período de dois anos (junho de 2017 a junho de 2019) foi de acordo com a idade das plantas de camu-camu (2,3,4,5,6,7 anos), desta maneira foi possível realizar o balanço hídrico para obter a evapotranspiração da cultura, tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva (Tabela 1).

Tabela 1. Lâminas de irrigação aplicadas as plantas de camu-camu durante o período de avaliação, junho de 2017 a junho de 2019.

FDD	Idade de plantas (anos)	Lâmina de irrigação/Período	
FV	2	Junho-dezembro, 2017 3,13 mm	Janeiro-junho, 2018 6,25 mm
	3	Julho-dezembro 2018 11,25 mm	Janeiro-junho, 2019 16,88 mm
	4	Junho-dezembro, 2017 16,85 mm	Janeiro-junho, 2018 17,5 mm
FR	5	Julho-dezembro 2018 20,63 mm	Janeiro-junho, 2019 33,75 mm
	6	Junho-dezembro, 2017 33,75 mm	Janeiro-junho, 2018 43,13 mm
	7	Julho-dezembro 2018 45,00 mm	Janeiro-junho, 2019 56,25 mm

Onde: FDD: fase de desenvolvimento, FV: fase vegetativa, FR: fase reprodutiva.

Na fase vegetativa foi observado o desenvolvimento dos estádios fenológicos: desenvolvimento de folhas, formação de brotos laterais e crescimento longitudinal e lateral dos caules. Na fase reprodutiva foram observados a emergência das inflorescências, floração, desenvolvimento e maturação de frutos, e o repouso dos ramos e queda de folhas.

Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

Para o cálculo da ET_o foi utilizada a Equação de Penman-Monteith/FAO, com base na planilha desenvolvida por Conceição (2006). O modelo utilizou as seguintes informações climáticas: (a) temperatura máxima, (T_{max}); (b) temperatura mínima (T_{min}); (c) umidade relativa do ar (UR); (d) velocidade do vento (V_v); e, (e) Radiação solar (R_s). Os dados foram fornecidos pela Estação Meteorológica automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de Boa Vista/RR.

Estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c).

A ET_c foi determinada a partir do balanço hídrico, que tem seu fundamento na lei da conservação das massas (REICHARDT; TIMM, 2014), dada pela equação 1 (Eq. 1)

$$P + I - D - ET_c = \pm \Delta h \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

P – Precipitação pluvial (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) (Eq. 2)

$$\Delta h = (\theta_2 - \theta_1)Z \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

θ_2 – Umidade média no solo em volume no dia da irrigação (cm^3/cm^3)
 θ_1 – Umidade média no solo em volume no dia antes da irrigação (cm^3/cm^3)
 Z – Profundidade adotada no balanço (mm).

A umidade do solo foi determinada na base de volume (θ) ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) antes e depois de cada irrigação com o sensor de umidade do solo 10HS[®] (Decagon Devices) calibrado.

A coleta dos dados ocorreu a partir do dia 01 de junho de 2017, 60 dias após o transplante, quando as plantas já estavam estabelecidas.

Estimativa o coeficiente da cultura (Kc)

A estimativa do Kc foi determinada pela relação dos valores da ETc e ETo (DOORENBOS; PRUITT, 1977) (Eq. 3).

$$Kc = ETc / ETo \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

Kc = coeficiente de cultura;
 ETc = evapotranspiração da cultura;
 ETo = evapotranspiração de Penman-Monteith/FAO

Determinação da área foliar das plantas de camu-camu

Foram coletadas 100 folhas aleatoriamente das plantas de camu-camu em cada fase de desenvolvimento. Depois foram levadas para o Laboratório de Pós-Colheita da Embrapa Roraima, onde foi mensurado o comprimento do limbo foliar ao longo da nervura principal (C) e a largura máxima do limbo foliar perpendicular à nervura principal (L), de cada folha, através de medições com paquímetro digital. Em seguida, a área real de cada folha (AF) foi determinada com a utilização de um medidor eletrônico (Portable leaf Area Meter, Li-cor Mod. 3100). Para determinar a área foliar total das plantas, foi realizada a defoliação total, e em seguida foi realizada contagem de todas as folhas manualmente, logo essa quantidade foi multiplicada pela área foliar média obtida das 100 folhas (Figura 8).

Figura 8. Detalhe da Mensuração do comprimento (1), largura (2), área foliar (3), e contagem total (4) das folhas das plantas de camu-camu.



Análise do sistema radicular das plantas de camu-camu

A amostragem das raízes foi feita em delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial de $3 \times 2 \times 3 \times 3$, sendo: 3 idades de plantas (3, 5 e 7 anos), 2 tipos de manejo (com e sem cobertura vegetal morta-CVM), 3 distâncias do caule principal (0,15; 0,30 e 0,45 m), 3 camadas (0,0-0,13, 0,13-0,26 e 0,26-0,39 m) com 3 repetições e uma planta por unidade experimental. A coleta foi realizada com trado de aço, de 1,0 m de comprimento e 0,10 m de diâmetro (Figura 9).

Figura 9. Detalhe da Amostragem (1) e preparo (2) das raízes para a análise do sistema radicular de plantas de camu-camu.



Após a coleta, as amostras foram colocadas em sacos e codificadas segundo cada tratamento. Logo foram conduzidas ao local adequado para separar as raízes do solo com água corrente em uma peneira de 0,5 mm. Em seguida foram colocadas sob panos de tecido para tirar o excesso de água, logo após, pelo princípio de Arquimedes, foi determinado o volume (cm^3). Em seguida as amostras foram colocadas em estufa de circulação forçada a $70\text{ }^\circ\text{C}$ por um período de 72 horas, ao final foi mensurada a matéria seca (g) (Figura 9). Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste de F e as médias foram comparadas pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade, todas as análises foram realizadas com o Programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características vegetativas das plantas de camu-camu

Na Tabela 2, mostram-se os valores das diferentes características vegetativas mensuradas de acordo com a idade das plantas de camu-camu. Além disso, destaca-se que a partir do quinto ano de idade foram observadas as características defloração e produção de frutos, sendo mais representativo ao sexto e sétimo ano de idade com média de 6 e 10 kg planta⁻¹, respectivamente. Também foi verificado que a área foliar das plantas de camu-camu foi em média de 11,26 cm² com erro padrão (ep) de 0,35 cm² e CV de 31,33%; e com valores mínimos e máximos de 4,58 até 25,68 cm², respectivamente.

Tabela 2. Características vegetativas das plantas de camu-camu em diferentes idades

Características vegetativas	Idade de plantas de camu-camu (anos)					
	2	3	4	5	6	7
NRB	1	2	2	3	3	3
NRT	4	27	56	175	195	395
H (m)	0,7	1,25	1,55	1,87	2,2	2,6
DCO (m)	0,15	0,65	1,6	1,94	2,65	3,12
DC (m)	0,015	0,06	0,11	0,15	0,19	0,22
AF (m ²)	0,61	1,62	4,14	6,12	7,86	8,49
Área foliar (cm ²)	4,58-11,26-25,68; Ep: 0,35; CV: 31,33					

Onde: **NRB**: número de ramos basais, **NRT**: número de ramos terminais, **H**: altura de planta (m), **DCO**: diâmetro de copa (m), **DC**: diâmetro do caule (m), **AF**: área foliar de toda a planta (m²).

Distribuição do sistema radicular das plantas de camu-camu

Foi determinado que o fator idade, tipo de manejo (com e sem CVM); distância e profundidade de amostragem, provocaram diferenças estatísticas significativas, sobre o volume e matéria seca das raízes. Ressalta-se também, que o uso de CVM de restos vegetais de capim *Trachypogon plumosus* promoveu o incremento significativo do volume e da matéria seca de raízes das plantas de camu-camu em todas as idades (Figuras 11 e 12). Nesse sentido, Leite et al. (2003); Rao; Li (2003) mencionam que a cobertura melhora a porosidade do solo, aumenta o teor de matéria orgânica, e favorece o desenvolvimento do sistema radicular.

Além disso, a distribuição do sistema radicular nas plantas com 3 e 5 anos de idade em ausência e presença de CVM foi simétrica, pois, o volume e a matéria seca das raízes diminuiu conforme a profundidade e a distância do caule principal. Os mesmos resultados foram determinados nas plantas com 7 anos de idade sem CVM (Figuras 11 e 12). Este resultado pose

ser associado a irrigação uniforme no lisímetro, por ser uma área pequena (1,6 m²) a irrigação foi distribuída de maneira homogênea. Nesse sentido, Santos et al. (2014) indicam que a distribuição das raízes é influenciada pela distribuição e conteúdo de água no solo, como resultado do manejo de irrigação adotado. Por outro lado, nas plantas com 7 anos de idade com CVM, a distribuição do sistema radicular não foi simétrica no lisímetro, pelo fato de que a maior concentração das raízes foi na camada de 0,0 - 0,13 m em todas as distâncias de amostragem (0,15; 0,30 e 0,45 m) em relação ao caule principal da planta.

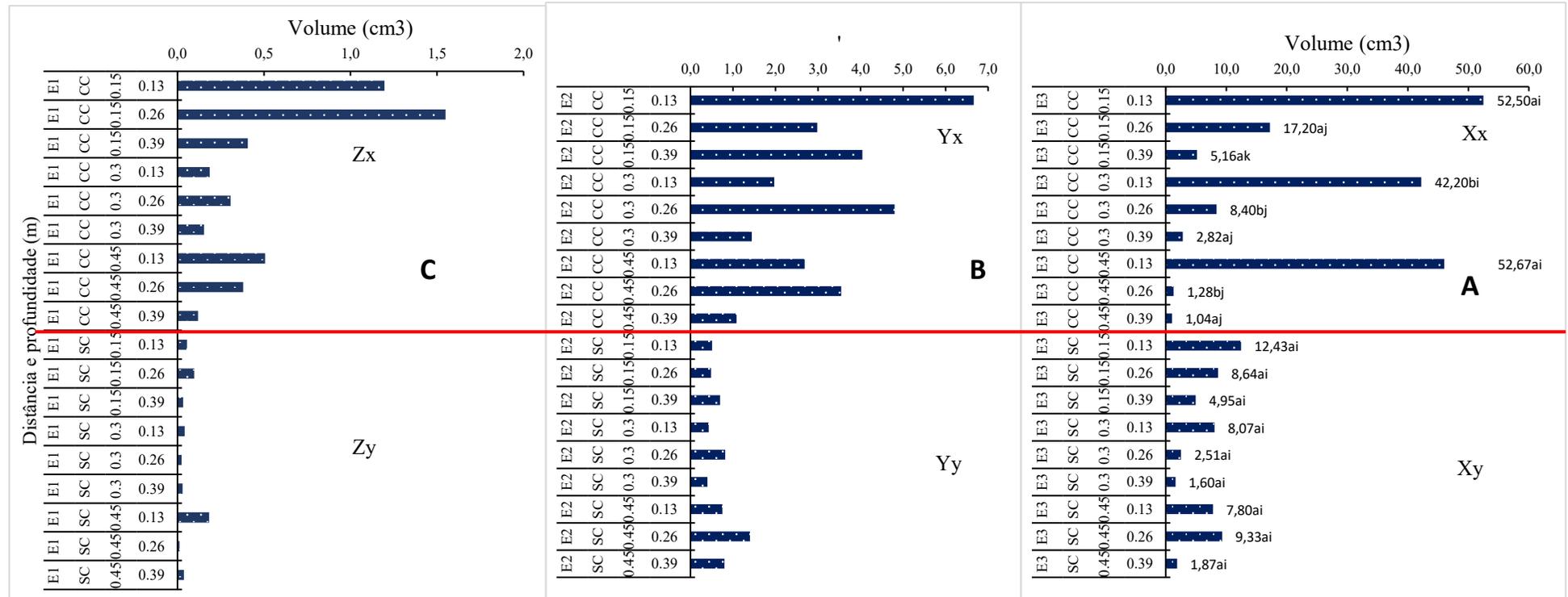
Constatou-se, também, que o sistema radicular na primeira camada de 0,0-0,13 m, esteve formado por uma capa grossa de raízes finas tipo esponja, as quais colonizaram e diminuíram o volume do solo nessa camada (Figura 10), em consequência a frequência de irrigação foi mais contínuo e a lâmina também foi incrementada para evitar o estresse hídrico. Nesse sentido, Taiz et al. (2017) mencionam que, quando há maior quantidade de pelos de raízes, a área de superfície de contato aumenta e, portanto, há maior absorção de água.

Figura 10. Desenvolvimento de raízes superficiais na planta de camu-camu com 7 anos de idade com cobertura Vegetal morta (CVM) no lisímetro de drenagem.



Um dos fatores que contribuiu para este resultado possivelmente foi o tamanho do lisímetro, pelo fato que limitou o desenvolvimento das raízes e a acumulação de matéria orgânica produto da decomposição da CVM, pois esta favoreceu maior desenvolvimento de raízes superficiais. Silva et al. (2011) referem que o uso de CVM permite manter ou aumentar o conteúdo de matéria orgânica no solo, mobilizando, reciclando e fornecendo nutrientes no sistema. Além disso, Gill et al. (1996) mencionam que a CVM reduz a perda de água por evaporação resultando em maior crescimento do sistema radicular na camada superficial pela melhoria das condições de umidade.

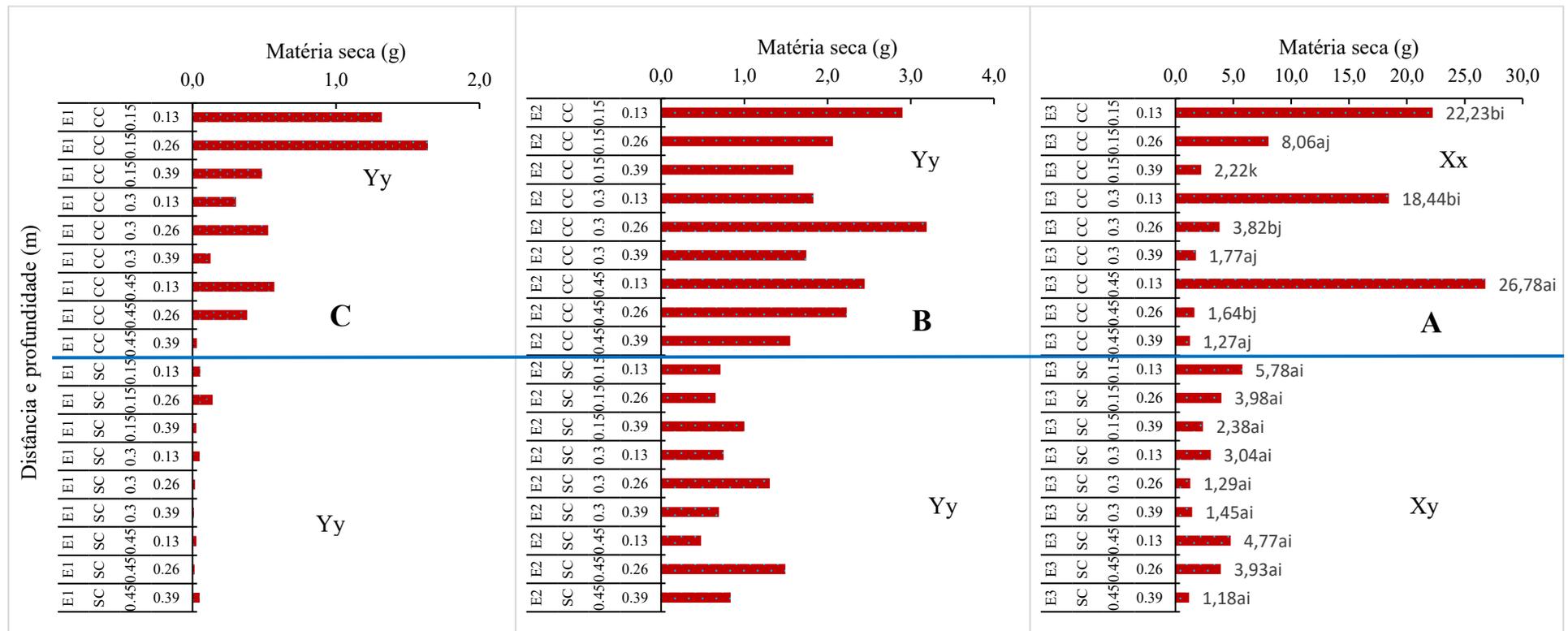
Figura 11. Representação gráfica do volume (cm^3) de raízes em função da idade de planta, tipo de manejo com e sem cobertura vegetal morta (CVM), profundidade e distância ao caule principal da planta no lisímetro de drenagem.



Onde: **E1**: plantas com 3 anos de idade, **E2**: plantas com 5 anos de idade, **E3**: plantas com 7 anos de idade; **SC**: sem CVM, **CC**: com CVM

Letras maiúsculas iguais na horizontal e letras minúsculas iguais na vertical não apresentam diferenças estatísticas significativas segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras A-B-C na linha (representa a idade de planta), Xx-Yy (representa ao tipo de manejo entre e em cada idade de planta) e, a-b (representa as diferenças entre distâncias e i-j representa as diferenças entre profundidades dentro de cada tipo de manejo e idade de planta). Linha vermelha divide ao tipo de manejo: CC: com cobertura, SC: sem cobertura vegetal morta.

Figura 12. Representação gráfica da matéria seca (cm³) de raízes em função da idade de planta, tipo de manejo com e sem cobertura vegetal morta (CVM), profundidade e distância ao caule principal da planta no lisímetro de drenagem.



Lenda: Onde: **E1**: plantas com 3 anos de idade, **E2**: plantas com 5 anos de idade, **E3**: plantas com 7 anos de idade; **SC**: sem CVM, **CC**: com CVM

Letras maiúsculas iguais na horizontal e letras minúsculas iguais na vertical não apresentam diferenças estatísticas significativas segundo o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras A-B-C na linha (representa diferenças na idade de planta), Xx-Yy (representa diferenças no tipo de manejo entre e em cada idade de planta) e a-b (representa as diferenças entre distâncias e i-j representa as diferenças entre profundidades dentro de cada tipo de manejo e idade de planta). Linha azul divide ao tipo de manejo: CC: com cobertura, SC: sem cobertura vegetal morta.

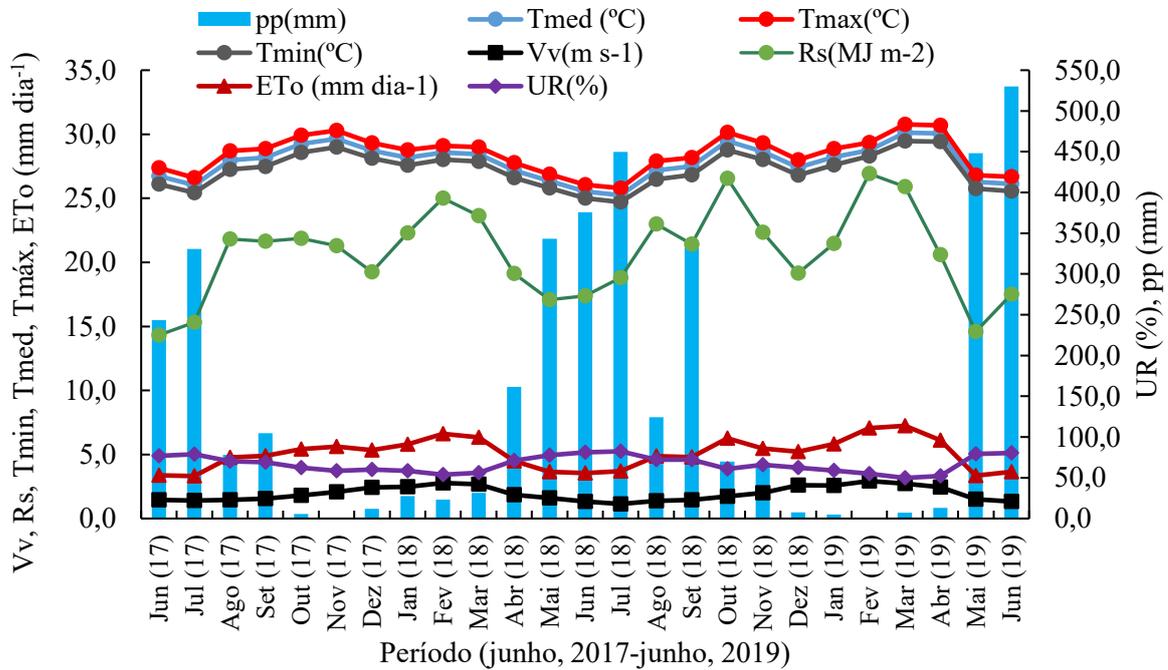
Por esta razão, recomenda-se para futuros trabalhos utilizar lisímetros de maior tamanho para avaliar o balanço hídrico por mais tempo. Nesse sentido, Requena et al. (2010) mencionam que para fruteiras requerem-se lisímetros de grandes dimensões e vários anos de estudo. SILVA (2003) refere que o uso destes aparelhos pode apresentar grande variação na forma e tamanho, sendo determinados pelo tamanho do sistema radicular da cultura a ser implantada.

Dados meteorológicos e evapotranspiração de referência (ET_o)

Durante a condução da pesquisa, a temperatura média do ar foi de 27,8 °C com máxima de 28,5 °C e mínima de 27,2 °C; a umidade relativa média foi de 66,6%, com máxima e mínima de 82,4 e 49,8%, respectivamente. A velocidade média do vento foi de 1,9 m s⁻¹ com máxima e mínima de 2,9 m s⁻¹ no mês de fevereiro e de 1,1 m s⁻¹ no mês de julho, respectivamente. A radiação solar média foi de 20,7 MJ m⁻² com máxima e mínima de 26,9 no mês de fevereiro e de 14,3 MJ m⁻² no mês de junho, respectivamente. A precipitação pluvial média anual acumulada foi de 1896,1 mm, sendo 94,9% distribuídos nos meses de abril até setembro, que corresponde à estação chuvosa local (INMET, 2017-2019).

A ET_o (junho de 2017 - junho de 2019) variou em função das características climáticas do local de trabalho. A máxima ET_o foi registrada nos meses de janeiro, fevereiro e março, tanto para o período de: “junho, 2017- junho, 2018” e “julho, 2018- junho, 2019” com 5,8; 6,6 e 6,3 e 5,8; 7,1 e 7,2 mm dia⁻¹, respectivamente. Estes valores são diretamente proporcionais aos valores de temperatura máxima, baixa umidade relativa, elevada velocidade do vento, alta radiação solar e escassa precipitação pluvial. Por outro lado, os valores mínimos de 3,5 mm dia⁻¹ em média, foram registrados nos meses de maio, junho e julho durante o período de avaliação, aonde ocorre totalmente o contrário ao período de seca (Figura 13).

Figura 13. Representação gráfica da variação dos elementos climáticos e da evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Penman-Monteith/FAO para Boa Vista-RR, durante o período de junho de 2017 a junho de 2019.



Onde: pp (precipitação pluvial), Tmax (Temperatura máxima), Vv (velocidade do vento), Tmed (temperatura média), Tmin (Temperatura mínima), Rs (Radiação solar), UR (Umidade relativa), ETo (Evapotranspiração de referência).

Resultados semelhantes de ETo variando entre 1,7 e 6,6 mm dia⁻¹ foram reportados por Murga-Orrillo et al. (2016), para a mesma localidade e utilizando o mesmo método de análise. Do mesmo modo, Araújo et al. (2007) estudando a estimativa da ETo por diferentes métodos, reportaram médias que oscilaram entre 3,3 e 5 mm dia⁻¹ para a localidade de Boa Vista-RR, sendo a mínima reportada no mês de junho e a máxima no mês de março.

Evapotranspiração da cultura (ET_c)

Os resultados referentes a ET_c das plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade com e sem CVM, são mostrados nas Figuras 14, 15 e 16. De maneira geral, observa-se que, a ET_c teve variação direta com as condições do tempo, pois houve aumento da demanda hídrica, quando houve elevação da evapotranspiração de referência (ET_o). Resultados semelhantes foram determinados por Saraiva et al. (2016), trabalhando com a cultura da melancia (*Citrullus lanatus*) em Teresina – PI.

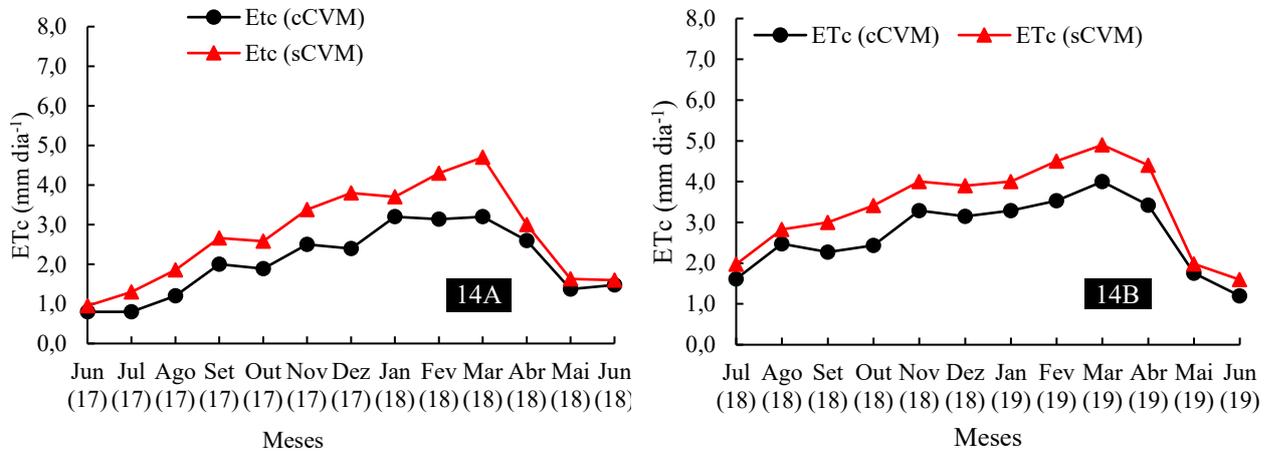
A ETc também variou com a idade e desenvolvimento das plantas de camu-camu, sendo justificado pelo aumento da área foliar de 0,61 a 8,49 m² e do volume do sistema radicular de 0,5 a 10 cm³, da etapa vegetativa até a reprodutiva, respectivamente (Figuras 11 e 1). Resultados semelhantes foram reportados por Coelho Filho et al. (2004), ao trabalhar com lima ácida (*Citrus aurantiifolia*), os quais afirmaram que a transpiração aumenta proporcionalmente à área foliar. Nesse sentido, Viana; Azevedo (2003) referem que, a maior área foliar e sistema radicular as plantas tendem a evapotranspirar mais. Também, Posse et al. (2009) mencionam que o desenvolvimento da área foliar está relacionado ao próprio desenvolvimento da cultura e consequentemente, com sua capacidade de realizar fotossíntese, sintetizar biomassa e consumir água.

Além disso, o uso de CVM influenciou na diminuição da demanda hídrica das plantas. Nesse sentido, a CVM reduziu o consumo de água pela cultura em todos os estádios de desenvolvimento, principalmente pela redução da evaporação. Resultados semelhantes foram reportados por Nunes et al. (2014), ao determinarem que a cobertura morta no solo com restos vegetais, manteve o solo mais úmido, menos aquecido e reduziu as perdas hídricas do solo por evaporação ao trabalhar com a cultura da goiabeira (*Psidium guajava*). Nesse sentido, Allen et al. (2006) mencionam que valores diferentes ao padrão da ETc podem ser obtidos utilizando mulching na superfície, cultivos intercalados, presença de vegetação em áreas reduzidas e outras práticas específicas de cultivo.

Em relação a ETc das plantas com 2 anos de idade com CVM, foi determinado que houve consumo médio de água de 2,1 mm dia⁻¹, com valores mínimos e máximos de 0,8 e 3,2 mm dia⁻¹, respectivamente. Por outro lado, quando não foi utilizado CVM foi determinado em média 2,9 mm dia⁻¹ com mínimo e máximo de 1,3 e 4,7 mm dia⁻¹, respectivamente, para o mesmo período (Figura 14A).

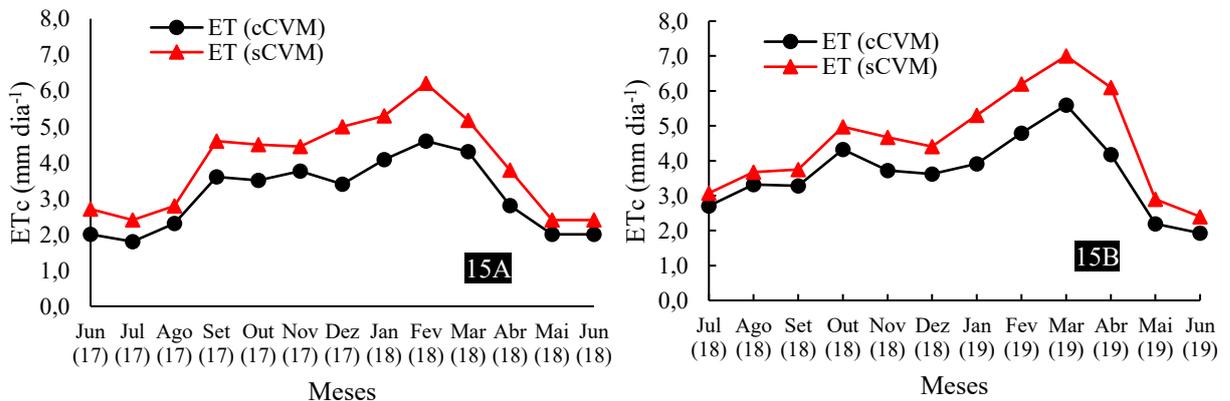
Nas plantas de 3 anos de idade com CVM foram determinados valores mínimos, médios e máximos de 1,6; 2,8 e 4 mm dia⁻¹, respectivamente. Entretanto, em ausência de CVM foram determinados valores mínimos, médios e máximos de 2,0; 3,5 e 4,9, respectivamente (Figura 14B).

Figura 14. Representação gráfica dos dados da evapotranspiração da cultura (ETc) de plantas de camu-camu com 2 (14A) e 3 (14B) anos de idade com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta, estimada pelo balanço hídrico em lisímetros de drenagem.



Para as plantas com 4 anos de idade com CVM, observou-se, valores mínimos, médios e máximos de ETc em torno de 2,0; 3,2 e 4,6 mm dia⁻¹, respectivamente. Porém, valores superiores de 2,4; 4,1 e 6,4 mm dia⁻¹ foram determinados sem CVM (Figura 15A). As plantas com 5 anos de idade apresentaram valores mínimos, médios e máximos de 1,9; 3,6 e 5,6 mm dia⁻¹, respectivamente, quando estiveram sob manejo de CVM. No entanto, quando não foi utilizada CVM, foram estimados valores mínimos, médios e máximos de 2,4; 4,4 e 7,0 mm dia⁻¹, respectivamente (Figura 15B).

Figura 15. Representação gráfica dos dados da evapotranspiração da cultura (ETc) de plantas de camu-camu de 4 (15A) e 5 (15B) anos de idade com (cCVM) sem (sCVM) cobertura vegetal morta, estimada pelo balanço hídrico em lisímetros de drenagem.

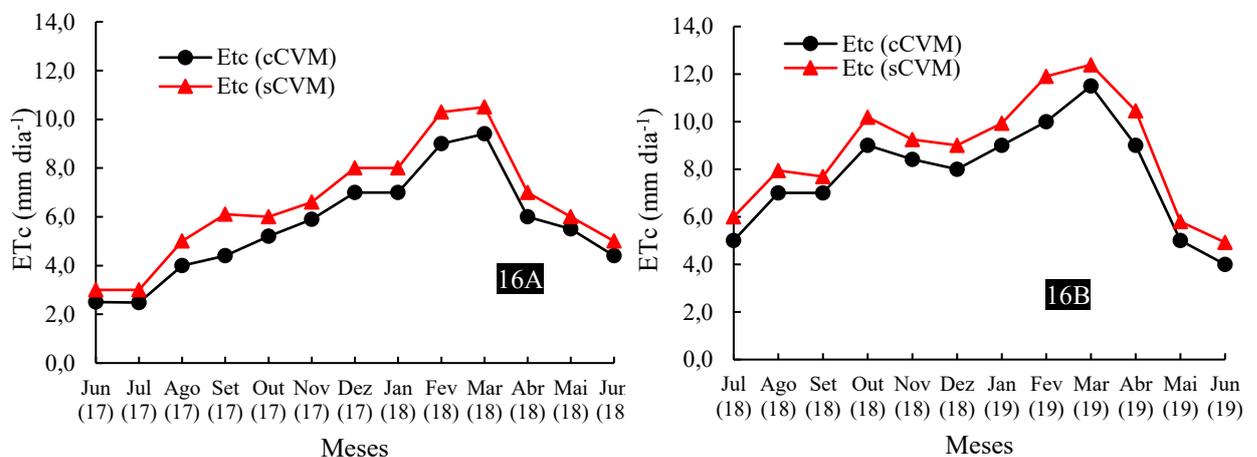


Nas plantas com 6 anos e com CVM foram determinados valores mínimos, médios e máximos de ETc de 2,5; 5,9 e 9,4 mm dia⁻¹, respectivamente. Porém, quando não foi utilizada

CVM o valor mínimo, médio e máximo da ET_c foi de 3,0; 6,8 e 10,5 mm dia^{-1} , respectivamente (Figura 16A).

Para as plantas com 7 anos de idade com CVM, foi determinado em média 7,7 mm dia^{-1} ; com valores mínimos e máximos de 4,0 e 11,5 mm dia^{-1} , respectivamente. No entanto, em ausência de CVM foram determinados valores superiores, alcançando 8,8 mm dia^{-1} em média, com valores mínimos e máximos de 4,9 e 12,4 mm dia^{-1} , respectivamente (Figura 16B).

Figura 16. Representação gráfica dos dados da evapotranspiração da cultura (ET_c) de plantas de camu-camu com 6 (16A) e 7 (16B) anos de idade com (cCVM) sem (sCVM) cobertura vegetal morta, estimada pelo balanço hídrico em lisímetros de drenagem.



Resultados semelhantes foram reportados por Mendes et al. (2012), para a cultura da acerola (*Malpighia glabra*) nas condições edafoclimáticas de Fortaleza, CE, sendo a ET_c média de 5,1 mm dia^{-1} , com extremos que variaram de 4,4 mm dia^{-1} a 8,0 mm dia^{-1} .

De acordo com os valores da ET_c determinados nesta pesquisa o consumo de água pelas plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade sem CVM foi 25,1; 20,1; 22,3; 19,9; 13,8; e 11,8% superior as plantas com CVM, respectivamente. Constate-se que a diferença no consumo de água pelas plantas com 6 e 7 anos, com e sem CVM, diminuiu indicando que a maior taxa de evapotranspiração esteve constituída principalmente pela evaporação do solo e não pela planta, pelo fato que não houve restrições hídricas, e a área de solo coberta pela parte aérea das plantas foi pequena. Nesse sentido, Mota et al. (2010) mencionam que isso ocorre porque nos estágios iniciais de desenvolvimento vegetativo o dossel não cobre o solo por completo e, portanto, há maior taxa de evaporação no solo não coberto.

Resultados semelhantes de 16,7 e 19,4% foram reportados por Murga-Orrillo et al. (2016a, 2016b) ao trabalharem com cobertura vegetal morta na cultura do milho (*Zea mays*) e

feijão caupi (*Vigna unguiculata*), respectivamente. Estes resultados concordam com Allen et al. (2007), na qual asseguram que a cobertura do solo altera a relação solo-água-plantas, diminuindo a taxa de evaporação entre 50 e 80% e de 5 a 30% da evapotranspiração.

Por outro lado, na Tabela 3, apresenta-se os valores da ETc acumulada nas diferentes fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta. Note-se, que as Fases FI e FII possuem períodos longos de até 1461 dias equivalente a quatro anos. Entretanto, a fase FIII iniciou-se ao quinto ano de idade, sendo mais representativa aos 6 anos e consolidou-se aos 7 anos de idade.

Tabela 3. ETc acumulada e duração dos estádios fenológicos, inicial (I), crescimento (II), reprodutivo (III) da cultura do camu-camu em solos com e sem cobertura vegetal morta (CVM).

Parâmetros	Fases fenológicas						Total
	FI	FII		FIII			
	Idade de planta (anos)						
	2	3	4	5	6	7	
Duração (dias)	365	365	366	365	365	365	2191
ETc-cCVM (mm dia ⁻¹)	2,1	2,8	3,2	3,6	5,8	7,7	
ETc-c-A (mm) acumulada	760,9	1.008,5	1.162,7	1.323,9	2.131,0	2.822,0	9.253,4
ETc-sCVM (mm dia ⁻¹)	2,8	3,5	4,1	4,5	6,8	8,8	
ETc-A (mm) acumulada	1.026,9	1.262,1	1.497,4	1.652,3	2.470,9	3.201,2	11.159,0

FI: fase de formação e desenvolvimento vegetativo de 10 a 40% de área de solo coberto pela copa da planta.

FII: fase de desenvolvimento vegetativo e início da fase reprodutiva até 80% do solo coberto pela copa da planta.

FIII: Fase reprodutiva, até 95% do solo coberto pela copa da planta.

ETc-A: acumulada ano⁻¹

Coefficiente de cultura do camu-camu (Kc)

Foi constatado, que os valores de Kc nas fases FI, FII e FIII variaram em função do uso da cobertura vegetal morta (CVM), e com o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas de camu-camu.

Na fase FI de formação e de desenvolvimento vegetativo, os valores do Kc foram baixos, sendo em média de 0,4 e 0,5; variando de 0,2 a 0,6; e de 0,3 a 0,7 para as plantas de 2 anos, com e sem CVM, respectivamente. Para as plantas de três anos de idade foi determinado em média 0,5 e 0,6, variando de 0,4 a 0,6; e de 0,5 a 0,8, com e sem CVM, respectivamente (Figura 17). Esses valores são justificados pelo fato que as plantas nesta fase estiveram em plena formação de folhas, emissão dos primeiros brotos laterais e crescimento longitudinal y lateral dos caules basais e secundários. Os valores dos coeficientes de cultura (Kc) obtidos se

enquadraram dentro do intervalo recomendado por Doorenbos; Pruitt (1977), para cultivos permanentes na fase I que inicia com a emissão das primeiras folhas e prolonga-se até 10% da cobertura do solo pela planta.

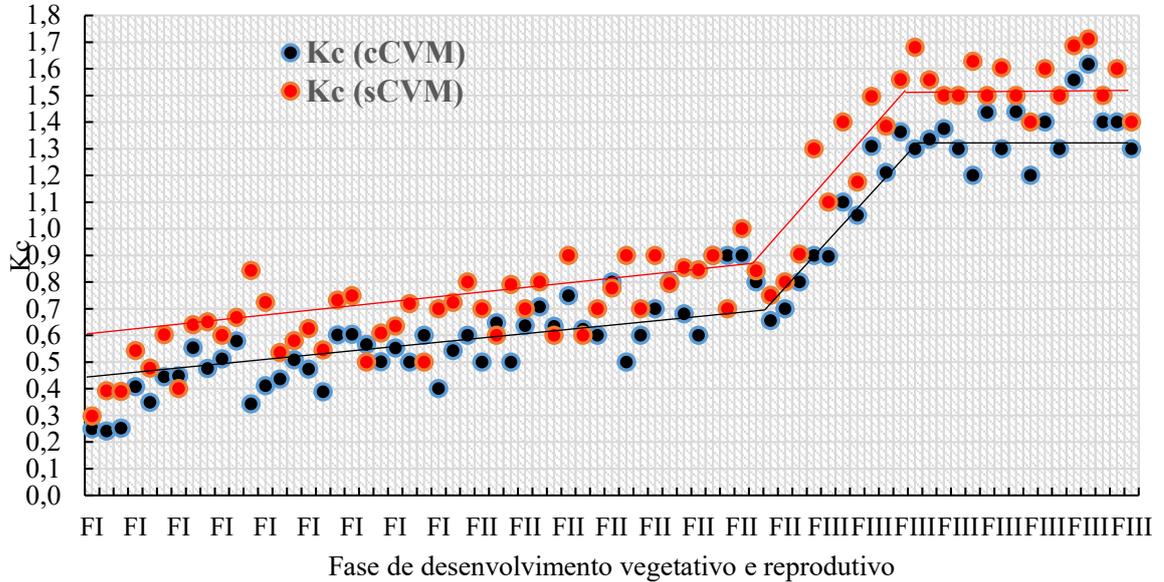
Resultados semelhantes aos valores de K_c nesta pesquisa, foram determinados por Doorenbos; Pruitt (1977) em climas tropicais e mediterrâneos para as culturas da banana (*Musa* spp) ($K_c = 0,5$), manga (*Mangifera indica*) ($K_c = 0,4$), maracujá (*Passiflora edulis*) ($K_c = 0,4$) e citros ($K_c = 0,5$) no estágio I de desenvolvimento vegetativo. Do mesmo modo, Allen et al. (2006) mencionam que para a cultura da goiabeira (*Psidium guajava*) na fase inicial de crescimento vegetativo o K_c está em torno de 0,45.

Na fase FII, que corresponde ao pleno estabelecimento, definição da copa, aumento da área foliar e do sistema radicular, e início da etapa reprodutiva das plantas de camu-camu, foi determinado em média um K_c de 0,6 e 0,8; variando de 0,5 a 0,8 e de 0,7 a 0,9 para as plantas de 4 anos de idade com e sem CVM, respectivamente. Para as plantas com 5 anos foi registrado em média 0,7 e 0,8 variando de 0,5 a 0,8 e de 0,7 a 1,0 com e sem CVM, respectivamente (Figura 17). Resultados semelhantes foram reportados por Doorenbos; Pruitt (1977) em climas tropicais e mediterrâneos nas culturas da banana (*Musa* spp) (0,7 - 0,85), manga (*Mangifera indica*) (0,5-0,75), maracujá (*Passiflora edulis*) (0,75-0,8) e citros (0,75 - 0,8) no estágio II de desenvolvimento vegetativo considerado até 80% da cobertura do solo pela planta.

Na fase FIII, período onde foram observados os estádios fenológicos de emergência das inflorescências, floração e frutificação; foi constatado que o K_c atingiu seu máximo valor, indicando que as plantas demandaram mais água para nutrir a planta e acumular reservas para o desenvolvimento e manutenção da turgidez dos frutos até a colheita.

Assim, os valores de K_c , com e sem CVM, na fase FIII apresentaram em média, 1,1 e 1,4, variando de 0,7 a 1,4 e de 0,9 a 1,7 para as plantas de camu-camu com 6 anos de idade, respectivamente, e para as plantas com 7 anos foi registrado em média 1,4 e 1,6; variando de 1,1 a 1,6 e de 1,4 a 1,8; com e sem CVM, respectivamente (Figura 17). Resultados inferiores de K_c variando entre 0,70 a 1,45, com média de 0,98, foram reportados por Calgaro; Braga (2012), para a cultura da acerola (*Malpighia glabra*) em produção. No entanto, valores inferiores de K_c a os determinados nesta pesquisa foram reportados por Allen et al. (1998), para frutíferas tropicais como banana (*Musa* spp), cacau (*Theobroma cacao*) e café (*Coffea arabica*) com 1,1; 1,05 e 0,95, respectivamente.

Figura 17. Coeficiente de cultura (K_c) em plantas de camu-camu, com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta, nas fases FI e FII de desenvolvimento vegetativo e FIII de desenvolvimento reprodutivo obtido pelo método do lisímetro de drenagem.



Os valores altos de K_c , das plantas com 7 anos de idade com CVM, provavelmente foi devido a elevada lâmina de irrigação aplicada, pois esta foi necessária para evitar o estresse hídrico pela alta absorção de água devido ao excessivo desenvolvimento radicular pela acumulação de matéria orgânica e falta de espaço para uma melhor distribuição do sistema radicular. Nesse sentido, Taiz et al. (2017) mencionam que, quando há maior quantidade de de raízes, a área de superfície de contato aumenta e, portanto, há maior absorção de água.

5.5 CONCLUSÕES

Na fase FI de formação e de desenvolvimento vegetativo, foram determinados valores médios de Kc de 0,4 e 0,5; e de 0,5 a 0,7 para as plantas de camu-camu com 2 e 3 anos de idade, com e sem cobertura vegetal morta, respectivamente;

Na fase FII de estabelecimento e início da etapa reprodutiva foram determinados valores médios de Kc de 0,6 e 0,8 e de 0,7 a 0,9 para as plantas de camu-camu com 4 e 5 anos de idade, com e sem cobertura vegetal morta, respectivamente;

E, na fase FIII de frutificação, os valores médios de Kc foram de 1,1 e 1,4 e de 1,4 a 1,6 para as plantas de camu-camu com 6 e 7 anos de idade, com e sem cobertura vegetal morta, respectivamente;

O consumo de água pelas plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade sem cobertura vegetal morta foi 25,1; 20,1; 22,3; 19,9; 13,8; e 11,8% superior as plantas com cobertura vegetal morta, respectivamente.

5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABANTO-RODRÍGUEZ, C.; SOREGUI, G.M.M.; PANDURO, M.H.P.; VELAZCO, E. V. C.; PAREDES, E.J.D.; OLIVEIRA, E. M. Uso de biofertilizantes en el desarrollo vegetativo y productivo de plantas de camu-camu en Ucayali, Perú. **Revista Ceres**, v. 66, n. 2, p. 108-116, 2019.
- ALBUQUERQUE, A. H. P. **Distribuição da umidade do solo no cultivo da goiabeira sob altas frequências de irrigação e diferentes coberturas mortas**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, 2015. 85 p.
- ALLEN, R. G. et al. Water requirements. In: HOFFMAN, G. J. et al. **Desing and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASABE, 2007. Chap. 8, p. 208-288.
- ALLEN, R. G. PEREIRA, L.S; RAES, D.; SMITH. M. **Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Estudio FAO Riego y drenaje, 56. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma, 2006. 201 p.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and drainage paper 56**. Rome: FAO, 1998, 300 p.
- ALVARES, C.A.; STAPE, STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES G. J.L.; SPAROVEK, G. KOÏPEN'S climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANHÊ, F.F.; NACHBAR, R. T.; VARIN, T. V.; TROTTIER, J.; DUDONNÉ, S.; BARZ, M. L.; PERRINE FEUTRY, P.; PILON, G.; BARBIER, O.; DESJARDINS, Y.; ROY, D.; MARETTE, A. Treatment with camu camu (*Myrciaria dubia*) prevents obesity by altering the gut microbiota and increasing energy expenditure in diet-induced obese mice. **Gut**, v. 68, p. 453-464. 2019
- ARAÚJO, F.W; COSTA, S.A.A; ARAÚJO, A. E S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Boa Vista-RR. **Revista Caatinga**. v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.
- ARAÚJO, F.W.; ANDRADE JUNIOR, A.S.; MEDEIROS, R.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.
- BORGES, T.K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; DOS SANTOS, T.E.M.; SILVA, D. D.; DE PAULA, V.; SILVA JUNIOR. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1862-1873, 2014.
- CALGARO, M.; BRAGA, M. B. **A cultura da acerola**. 3 ed. rev. e aum. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 148 p.
- CHAGAS, E.A. LOZANO, R.M.B.; CHAGAS, P.C.; BACELAR-LIMA, C.G.; GARCIA, M. ISABEL R.; OLIVEIRA, J.V.; SOUZA, O.M.; MORAIS, B.S.; ARAÚJO, M.C.R. Intraspecific variability of camu-camu fruit in native populations of northern Amazonia. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, n. 4, p. 265-271, 2015.
- CHAGAS, R.M.; FACCIOLI, G.G.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I.F. de; VASCO, A. N. do; SILVA, M.G. da. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration (ET_o) for the city of rio real-BA. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 351-363, 2013.
- CHIRINOS, R.; GALARZA, J.; BETALLELUZ, I.; PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D. Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh] (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. **Food Chemistry**, v. 120, n. 4, p. 1019-1024, 2010.

- CLEMENT, C. R.; FREITAS, F. O.; ROMÃO, R. L. In: VEIGA, R. F. A. & QUEIRÓZ, M. A. (Eds.), 2015. **Recursos fitogenéticos: a base da agricultura sustentável no Brasil**. Editora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. pp. 30-38.
- COELHO FILHO, M. A.; ANGELOCCI, L. R.; ROJAS, J. S. D.; CAMPECHE, L. F. S. M.; FOLEGATTI, M. V. Relações entre transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar jovem de lima ácida 'Tahiti'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 2, p. 265-274, 2004.
- CONCEIÇÃO, F. M. A. **Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman- Monteith/FAO**. Circular Técnica. Bento Gonçalves, RS, Embrapa Uva e Vinho. 2006, 9 p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 2nd ed. Rome: FAO Irrigation and Drainage paper 24, 1977. 179 p.
- FAO. Organização das Nações Unidas para a alimentação e agricultura, 2017. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias**, Brasília, 243 p.
- FRACASSETTI, D.; COSTA, C.; MOULAY, L.; TOMÁS-BARBERÁN, F.A. Ellagic acid derivatives, ellagitannins, proanthocyanidins and other phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of two powder products from camu-camu fruit (*Myrciaria dubia*). **Food Chemistry**. v. 139, p. 578-588, 2013.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.1039-1042, 2011.
- GILL, K.S.; GAJRI, P.R.; CHAUDHARY, M.R.; SINGH, B. Tillage, mulch, and irrigation effects on corn (*Zea mays* L.) in relation to evaporative demand. **Soil Tillage Research**, v. 39, p. 213-227, 1996.
- INMET. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática (INMET)** do instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, 2019.
- LANGLEY, P.; PERGOLIZZI, J.; TAYLOR, R.; RIDGWAY, C. Antioxidant and associated capacities of camu-camu (*Myrciaria dubia*): A systematic review. **Journal of Alternative and Complementary Medicine**, v. 21, p. 8-14, 2015.
- LEITE, L. F. C; MENDONÇA, E. S., MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red- Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal Soil Research**, v. 41, n. 4, p. 717-730, 2003.
- MENDES et al. A cultura da acerola. 2012. 3ª edição, revista e ampliada. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Semiárido, 2012. 150 p.
- MENDOÇA, 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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.
- MIRANDA, L.W.; de CARVALHO, G.L.; CASTRO NETO, P.; dos SANTOS, B.A.P. Utilização do lisímetro de drenagem para obtenção do Kc da mamoneira em plantio adensado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 8 - 13, 2016.
- MOTA, J. C. A.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.D.S.; ASSIS JUNIOR, R. D.; AMARO FILHO, J. Armazenagem de água e produtividade de meloeiro irrigado por gotejamento, com a superfície do solo coberta e desnuda. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 34, p. 1721-1731, 2010.
- MURGA-ORRILLO, H.; ARAUJO, W.F.; RODRIGUEZ, C.A.; LOZANO, R.M. B.; SAKAZAKI, R. T.; VARGAS, A. R. P. Influência da cobertura morta na evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em cerrado. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 352-364, 2016a.

- MURGA-ORRILLO, H.; ARAÚJO, W. F.; ROCHA, P.R.R.; SAKAZAKI, R. T.; DIONISIO, L.F.S.; POLO-VARGAS, A.R. Evaporação e coeficiente de cultivo do feijão caupi cultivado em solo do cerrado submetido à cobertura morta. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 172-187, 2016b
- NEVES, L.; XAVIER, V.; ALVES, J.; FLACH, A.; RUFFO, S. Bioactive compounds and antioxidant activity in pre-harvest camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh] fruits, **Scientia Horticulturae** v. 186, p. 223-229, 2015.
- NUNES, J.C.; CAVALCANTE, L.F.; LIMA NETO, A.J.; SILVA, J.A.; SOUTO, A.G.L.; ROCHA, L.F. Humitec® e cobertura morta do solo no crescimento inicial da goiabeira cv. 'Paluma' no campo. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 89-96, 2014.
- PEREIRA, A.R.; NOVA, N.A.V.; SEDIYAMA, G.C. Evapotranspiração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p
- PINEDO, P.M.; LINARES, B.C.; MENDOZA, H.; ANGUIZ, R. **Plan de Mejoramiento Genético de Camu-camu**. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana-IIAP. Iquitos. Peru, 2004. 52 p.
- PINEDO, P.M.; RIVA, R.R.; RENGIFO, S.E.; DELGADO, V.C.; VILLACRES, V. J.; GONZÁLES, C.A.; INGA, S.H.; LÓPEZ, U.A.; FARROÑAY, P.R. VEGA, V.R. LINARES, B.S. **Sistema de producción de camu-camu en restinga**. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Iquitos. Perú, 2001, 141 p.
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. Biologia da Conservação. Londrina: Editora Planta, 2005. 327 p.
- POSSE, R.P.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; PEREIRA, M.G.; GOTTARDO, R.R. Total leaf area of papaya trees estimated by a nondestructive method. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 462-466, 2009.
- RAO, R.B.; LI, Y.C. Nitrogen mineralization of cover crop residues in calcareous gravelly soils. **Communications in Soil Science Plant Analyses**, v.34, n.3-4, p.299-313, 2003.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4ª. Ed. Ver. E ampliada. Campinas, Fundação Cargil, 1985. 445p.
- REQUENA, A.; NORDENSTRON, G.; CASTILLO, E. **Coefficientes de cultivo de manzano en período de formación, obtenidos en lisímetros de drenaje**. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA INTA Alto Valle. Centro Regional Patagonia Norte, Chile. 2010. 8 p.
- ROCHE, L.; DOUROJEANNI. **Manual sobre la conservación in situ de los recursos genéticos de especies leñosas tropicales**. Roma, FAO, División de Recursos Forestales, 1984. 96 p.
- SANTOS, F.X.; MONTENEGRO, A.A.; SILVA, J.R.; SOUZA, E.R. Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 3, p. 304-310, 2009.
- SANTOS, M.R.; MARTINEZ, M.A.; DONATO, S.L.R.; COELHO, E.F. Fruit yield and root system distribution of 'Tommy Atkins' mango under different irrigation regimes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 362-369, 2014.
- SARAIVA, K. R.; FÉLIX JUNIOR, C. D.; IBIAPINA, R. M.; GOMES, H.C. S.; REINALDO, G. I. Efeito das mudanças climáticas nas necessidades hídricas da melancia, no Piauí utilizando o "Cropwat". **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v. 10, n. 4, p. 858 - 865, 2016.
- SILVA, L.D.B. **Evapotranspiração do capim Tanzânia (*Panicum maximum* J.) e grama-batatais (*Paspalum notatum* F.) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. 2003. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. 93 p.

- SILVA, T.O.; FURTINI NETO, A.E.; CARNEIRO, L.F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.
- SOUZA, A. L. R.; PAGANI, M. M.; DORNIER, M.; GOMES, F. S.; TONON, R. V.; CABRAL L. M. C. “Concentration of camu-camu juice by the coupling of reverse osmosis and osmotic evaporation processes, **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 1, p. 7–12, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6a Edição, Artmed, 2017, 888 p.
- VIANA, T.V.A.; AZEVEDO, B.M. **Meteorologia e climatologia agrícolas**. Fortaleza: UFC. (Material didático), 2003. 196 p.
- VIEGAS, I.J.M.; FRAÇÃO, D.A.C.; SILVA, J.F. **Camu-camuzeiro, nutrição, calagem e adubação**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004, 6 p.
- YUYAMA, K.; VALENTE, J.P. **Camu-Camu *Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh.** 1.ed. Curitiba-Brasil: CVR, INPA, 2011. 216 p.

6. CAPÍTULO II. CALIBRACIÓN DE SENSORES DE REFLECTOMETRÍA DE DOMINIO DE FRECUENCIA PARA ESTIMAR LA HUMEDAD EN UN SUELO GERIC XANTHIC FERRALSOL

Documento aceito para publicação em formato de Nota técnica na Revista BIOAGRO Indexada em SCOPUS, web of Science, e com SJR: 0,16
(Nota técnica formatada nas normas da revista)

Carlos Abanto-Rodríguez¹, Wellington Farias Araújo², Pollyana Cardoso Chagas², João Luiz Lopes Monteiro Neto², Raphael Henrique da Silva Siqueira³, Samara Martins Barbosa⁴, Valdinar Ferreira Melo², Miguel Maffei Valero²

6.1 RESUMEN

El uso del riego es esencial para aumentar la productividad de los cultivos, sin embargo, para el manejo eficiente del agua, es necesario estimar con mayor precisión la humedad del suelo. Por esta razón, el objetivo en este trabajo fue calibrar sensores de reflectometría de dominio de frecuencia FDR modelo 10HS[®] (Decagon Devices) para ser utilizados en un suelo tipo Geric Xanthic Ferralsol. Para la calibración fueron utilizadas muestras indeformadas de suelo colectadas en cilindros de PVC a dos profundidades de 0-0,2 y de 0,2 a 0,4 m, repetidas cuatro veces cada una. En seguida, las muestras fueron colocadas en bandejas con agua destilada hasta 2/3 de la altura de los cilindros hasta alcanzar su saturación y posteriormente los sensores fueron introducidos para obtener la humedad en el punto de saturación. Inmediatamente las muestras fueron colocadas en estufa a 60 C, hasta llegar aproximadamente a 10% de humedad. La lectura de los datos de humedad volumétrica fue registrada en Datalogger Em5b[®]. Los resultados mostraron que los datos brutos de humedad volumétrica (m³ m⁻³) registrados antes de la calibración no coincidieron con la recta 1:1, presentando comportamiento divergente, evidenciando de esta manera la necesidad de calibración. Conforme a los resultados, se concluye que las ecuaciones generadas con los datos antes de la calibración sobreestimaron la humedad volumétrica del suelo, y las ecuaciones obtenidas después de la calibración miden satisfactoriamente la humedad del suelo Geric Xanthic Ferralsol.

¹Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Biotecnologia de la Amazonía Legal-REDE BIONORTE, Universidad Federal de Roraima-UFRR, Brasil, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-IIAP, Carforestal24@gmail.com

² Universidad Federal de Roraima-UFRR, Brasil, wellington.araujo@ufr.br, pollyana.chagas@ufr.br, joao.monteiro.neto@hotmail.com

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima/Campus Amajari-IFRR, Brasil, raphael_manajosolo@hotmail.com

⁴ Universidad Federal de Lavras, UFLA, Brasil: samarambar2014@gmail.com

Palabras clave adicionales: Constante dieléctrica, capacitancia, métodos no destructivos.

ABSTRACT

CALIBRATION OF FREQUENCY DOMAIN REFLECTOMETRY SENSORS TO ESTIMATE SOIL MOISTURE IN A GERIC XANTHIC FERRALSOL

The use of irrigation is essential to increase crop productivity, however, for efficient water management, it is necessary to more accurately estimate soil moisture. For this reason, the objective in this work was to calibrate FDR model 10HS[®] frequency domain reflectometry sensors (Decagon Devices) for use in a Geric Xanthic Ferralsol type soil. For the calibration, undeformed soil samples collected in PVC cylinders were used at two depths of 0-0.2 and 0.2 to 0.4 m, repeated four times each. Next, the samples were placed in trays with distilled water up to 2/3 of the height of the cylinders until saturation was reached and subsequently the sensors were introduced to obtain moisture at the saturation point. The samples were immediately placed in an oven at 60 C, until they reached approximately 10% humidity. The volumetric moisture data reading was recorded in Datalogger Em5b[®]. The results showed that the gross volumetric moisture data ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) recorded before calibration did not coincide with the 1:1 line, presenting divergent behavior, thus demonstrating the need for calibration. According to the results, it is concluded that the equations generated with the data before the calibration overestimated the volumetric soil moisture, and the equations obtained after the calibration satisfactorily measure the soil moisture Geric Xanthic Ferralsol.

Additional key words: Dielectric constant, Capacitance, non-destructive methods.

6.2 INTRODUCCIÓN

La extensa planicie en el estado de Roraima-Brasil está predominantemente representada por Ferralsols y con menor expresión geográfica por Gleysols, Arenosols, Cambisols, Plinthosols, Planosols, Solonets, Nitosols y Vertisols. De estos suelos, los Ferralsols ocupan 22%, y se caracterizan por ser profundos (>200 mm), bien drenados, de textura media con porcentajes de arcilla alrededor de 15% en el Horizonte A y de 18% en el Horizonte Bw; con bajos valores de limo y una baja relación limo/arcilla, características ésta de suelos muy intemperizados (Anjos y Schad, 2018; Melo et al., 2010).

Actualmente, en este estado, los Ferralsols son utilizados para cultivos anuales, con énfasis en soya, cultivos perennes como plantaciones de *Acacia mangium*, pastos y frutales donde sobresalen mango (*Mangifera indica*), cítricos (*Citrus sp.*), papaya (*Carica papaya*), sandía (*Citrullus lanatus*) y piña (*Ananas comosus*); además son suelos con potencial para el desarrollo de frutales nativos (Anjos y Schad, 2018). Sin embargo, en zonas con poca agua disponible, como Roraima, el riego es una alternativa esencial para garantizar la disponibilidad hídrica en los meses con mayor déficit pluvial.

Ahora bien, esta actividad debe estar siempre asociada con la conservación y gestión de los recursos hídricos disponibles, pues la agricultura es considerada la principal usuaria y consumidora de agua (FAO, 2017; Sanches et al., 2019). En ese sentido, la determinación de la humedad en suelos destinados a la producción agrícola es de vital importancia una vez que el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas dependen de forma significativa del contenido de agua en el suelo (Kitić y Crnojević-Bengin, 2013). Así mismo, Gravalos et al. (2012) citan que, la medición de la humedad es utilizada en la toma de decisiones sobre el momento oportuno y la cantidad de agua a ser aplicada en el cultivo.

La humedad del suelo puede ser medida mediante métodos directos e indirectos. Entre los métodos directos, el gravimétrico es el más utilizado, consiste en remover el agua de una muestra de suelo por evaporación, y posteriormente el contenido de agua es determinado por la diferencia de masa de la muestra al inicio y al término del proceso. Los métodos indirectos se fundamentan en respuestas a las propiedades electromagnéticas del suelo, como la moderación de neutrones, la resistencia eléctrica, la constante dieléctrica, la tensión del agua en el suelo y el uso de tensiómetros (Paltineanu y Starr, 1997). El principio de estos métodos consiste en la emisión de señales eléctricas y en la medición de la respuesta a estas señales que generalmente es el tiempo de reflexión o de frecuencia que ocurre en función de los cambios en la permitividad aparente y/o en la constante dieléctrica del suelo (Evet et al., 2006).

Entre los métodos indirectos para la determinación de la humedad del suelo, se destaca la utilización de la técnica FDR (Reflectometría en el Dominio de Frecuencia), es un método basado en la medición indirecta de la humedad a través de la propiedad de permitividad dieléctrica del suelo, que está relacionada con la cantidad de agua en el perfil (Lekshmi et al. 2014).

La permitividad dieléctrica es la capacidad de un dieléctrico (aislante) de polarizarse cuando es colocado en un campo eléctrico; es una constante adimensional, diferente para cada material (Keller, Gettys y Skove, 1999). La permisividad varía con el contenido de agua en el suelo, eso porque la permisividad o constante dieléctrica de agua es mucho mayor de que los otros constituyentes del suelo. En una escala de 1 a 80; el aire, el suelo mineral, la materia orgánica, el hielo y el agua tienen una permitividad dieléctrica de 1; 7; 5; 5 y 80, respectivamente. Por esta razón, los sensores consiguen medir el contenido de agua, por ser el componente en el suelo que más varía en volumen y en pequeños espacios de tiempo (Markevicius et al., 2012; Giraldi y Iannelli, 2009).

La medición del contenido de agua en el suelo por medio de sensores de capacitancia está en creciente uso debido a las siguientes ventajas: no son métodos destructivos, proporcionan mediciones casi instantáneas (fracción de segundos), requieren poco o ningún mantenimiento, pueden permanecer en el suelo durante un largo periodo de tiempo, son capaces de proporcionar lecturas continuas y no emplean radiación, lo que permite mediciones precisas próximo a la superficie del suelo (Stacheder et al., 2009; Silva et al., 2012).

No obstante, para mediciones más precisas, es necesario realizar la calibración de los sensores de acuerdo al tipo de suelo donde se va a utilizar, en virtud de las propiedades electromagnéticas inherentes a cada tipo de suelo, dado que la salinidad, temperatura, densidad y contenido de arcilla en el suelo pueden limitar su utilización (Evet, 2006; Prevedello et al., 2007). La calibración se puede realizar en condiciones de laboratorio, utilizando muestras de suelo indeformadas, ya que estas preservan las características de estructura, densidad y aireación como en su forma original (Lima et al., 2018).

En función de la importancia de la determinación de la humedad del suelo con mayor precisión para el manejo eficiente riego en los cultivos y la existencia de escasos estudios de calibración de sensores de humedad en suelos de clima tropical y de sabana, fue desarrollada esta investigación con el objetivo de calibrar sensores 10HS® (Decagon Devices) para ser utilizados en la medición de la humedad en suelos Geric Xanthic Ferralsol en el estado de Roraima.

6.3 MATERIALES Y MÉTODOS

Local de trabajo. El experimento fue conducido durante los meses de marzo a junio de 2018, en el laboratorio de Física y Agua del Suelo del Centro de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Roraima, Campo Cauamé, ubicado en el municipio de Boa Vista-RR. El suelo utilizado presentó pH ácido, bajo contenido de nutrientes y alto contenido de aluminio, características típicas de los suelos de la región de sabana en Roraima. Los atributos referentes al análisis químico del suelo Geric Xanthic Ferralsol de textura franco arcilloso (49,1% de arena, 15,1% de limo y 35,8% de arcilla y densidad del suelo de 1,50 g cm⁻³ en media).

Colecta de muestras de suelo. Para la calibración de los sensores fueron colectadas muestras indeformadas de suelo en cilindros rígidos de PVC de dimensiones 0,2 m de altura y 0,15 m, de diámetro interno en el área experimental del Centro de Ciencias Agrarias. Antes de la colecta, la superficie del suelo fue limpiada de restos vegetales. Seguidamente, fueron tomadas las muestras a dos profundidades (0-0,2 m e de 0,2- 0,4 m) con cuatro repeticiones cada una (Figura 1).

Saturación de las muestras de suelo. Inmediatamente, después del muestreo fue determinado el peso inicial. En seguida la base de los cilindros fue protegida con paños permeables para evitar la pérdida de suelo y también para facilitar la entrada de agua por capilaridad para provocar que el agua desplace la mayor cantidad de aire de los poros; luego las muestras fueron colocadas en bandejas con agua destilada hasta 2/3 de la altura de los cilindros. Después de 12 días, las muestras llegaron al punto de saturación, periodo en que fue observado un brillo uniforme en la superficie de cada muestra de suelo dentro de los cilindros.

En este punto de saturación, muestra por muestra fue retirada de las bandejas e inmediatamente fue pesada, seguidamente los sensores capacitivos 10HS[®] (Decagon Devices Pullman, WA) fueron introducidos totalmente hasta 0,1 m de profundidad (mitad del cilindro), obteniéndose inmediatamente la lectura de la humedad volumétrica en el punto de saturación en ambas profundidades establecidas. La lectura de los datos de humedad volumétrica fue almacenada en un equipo Datalogger Em5b[®] (Decagon Devices) (Figura 1).



Figura 1. Colecta, saturación y colocación de los sensores 10HS[®] en las muestras de suelo.

Calibración de los sensores. En seguida, las muestras fueron colocadas en estufa de aire de circulación forzada a 60 °C, cada cuatro días las muestras fueron retiradas de la estufa, se dejaba enfriar a temperatura ambiente y en seguida los sensores eran introducidos en una superficie no perturbada para la obtención de la lectura del contenido de humedad, proceso que fue repetido hasta que las muestras llegaron aproximadamente a 10% de humedad. Posteriormente las muestras fueron colocadas nuevamente en estufa a 105 °C, para la determinación del peso seco.

Para verificar el peso con que las muestras de suelo estarían con humedad próxima del valor deseado (aproximadamente 10% de humedad) fue colectada en la misma área experimental y en las mismas profundidades una muestra adicional para determinar el peso seco, porosidad y densidad del suelo por el método gravimétrico y en seguida estimar el peso seco deseado para las demás muestras conforme lo descrito por Silva et al. (2012) y Barbosa (2015).

Posteriormente fue verificado la exactitud de los datos de humedad volumétrica obtenidos por las lecturas de los sensores utilizando la recta 1:1 y el cálculo de la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Después de este análisis, y habiendo la necesidad de calibración se procedió al ajuste de los datos generando modelos matemáticos para toda la serie de datos de ambas profundidades y para cada profundidad, luego fue seleccionado el mejor ajuste o modelo matemático en función del mayor coeficiente de determinación R^2 y menor RMSE calculado en Microsoft Excel (2016), y finalmente fue realizada una nueva verificación de la exactitud con el modelo seleccionado en la calibración con el objetivo de aproximar los datos para la recta 1:1.

6.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con relación a las propiedades físicas de porosidad y densidad del suelo, fue determinado en la muestra superficial (0,0-0,2 m) una porosidad total de 40% (25% de macroporos y 15% de microporos), y $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. Por otro lado, en la muestra más profunda (0,2-0,4 m) fue determinado 33% de porosidad total (23% de macroporos y 10% de microporos), y una densidad de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$. En ese sentido, fue verificado que cuanto menor es la densidad del suelo mayor es el porcentaje del espacio poroso. De acuerdo con, Silva y Mendoça (2007) el comportamiento de estas propiedades es normalmente asociada a la disminución en el contenido de materia orgánica en el suelo.

Seguidamente, después de la lectura de los sensores 10HS[®] (Decagon Devices), fue verificado la exactitud de los datos brutos registrados, utilizándose la recta 1:1 y el cálculo de la raíz del RMSE. En la Figura 2, se observa la dispersión de toda la serie de datos de humedad volumétrica de ambas profundidades (0,0 hasta 0,4 m) antes de la calibración.

Los datos brutos de humedad volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) no coincidieron con la recta 1:1, es decir que presentaron comportamiento divergente, indicando que hay necesidad de calibración de los sensores (Figura 2). Similares resultados fueron encontrados al utilizar los datos registrados individualmente para cada una de las profundidades (Figuras 3A y 3B).

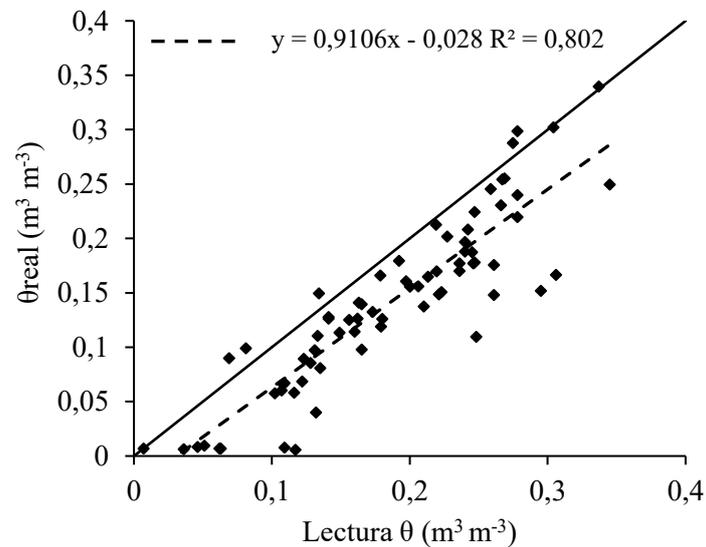


Figura 2. Datos brutos de humedad volumétrica obtenidos por las lecturas de los sensores de humedad para toda serie de datos de ambas profundidades (0,0 hasta 0,4 m).

Resultados similares fueron reportados por Silva et al. (2012) y Silva Junior et al. (2013), en la determinación de la exactitud y calibración de sonda de capacitancia en un Rhodic Ferralsol, donde los valores medidos antes de la calibración no coincidieron y siempre quedaron debajo de la recta 1:1. Del mismo modo, Barbosa (2015) al realizar la calibración de los datos obtenidos por sensores TDR observó que los datos registrados no se ajustaron con la recta 1:1.

En la Figura 3, es necesario destacar que, en la muestra superficial (0,0-0,2 m) hubo mayor retención de agua, puesto que la línea de tendencia tendió a separarse de la recta 1:1, sin embargo, en la muestra de suelo más profunda (0,2-0,4 m) ocurrió lo contrario. Esto probablemente sucedió, debido a que, en la superficie hubo menor densidad y mayor porcentaje de porosidad, producto del mayor contenido de materia orgánica. Al respecto, Santos y Pereira (2013) refieren que la materia orgánica permite mayor agregación y cohesión entre las partículas, haciendo un suelo más poroso y con mayor retención de agua; afirmación que coincide con los resultados encontrados en este trabajo.

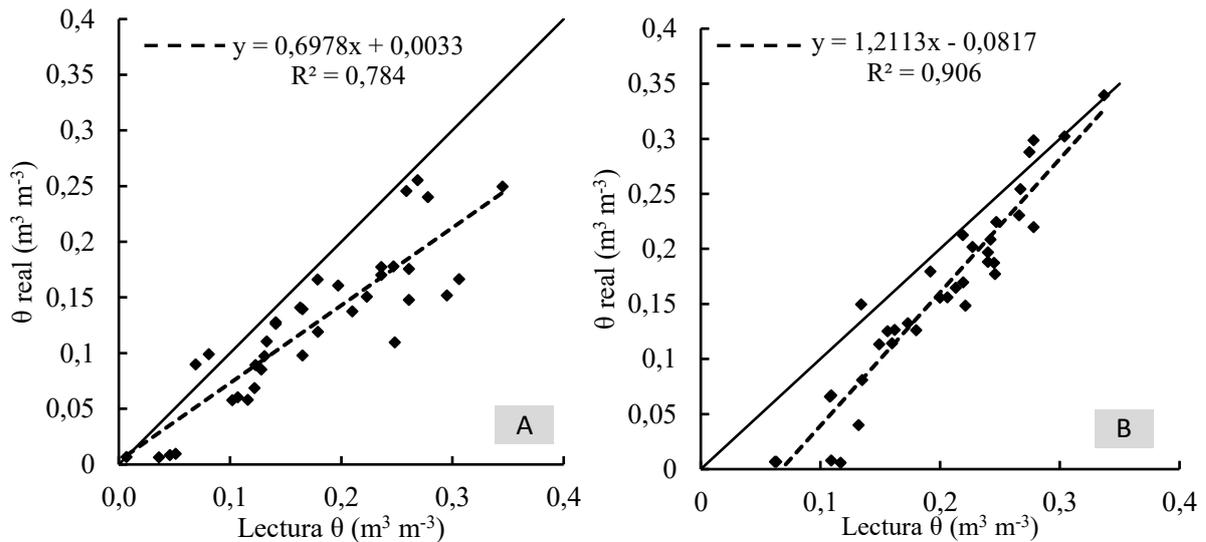


Figura 3. Datos brutos de humedad volumétrica obtenidos de las profundidades de 0-0,2 m (A) y de 0,2-0,4 m (B).

Seguidamente, después de haber verificado la necesidad de calibración, fueron generados modelos matemáticos (lineal y cuadrático), calculando el error cuadrático medio y el coeficiente de determinación. Posteriormente después de la calibración fue calculado un segundo RMSE para toda la serie de datos y para cada una de las profundidades (Tabla 1).

Resultados semejantes de RMSE para la calibración específica en campo, variando de 0,037 hasta 0,069 fueron reportados por Qi y Helmers (2010). Del mismo modo, Irmak y Irmak (2005), calibrando la sonda PR2/6[®] para cuatro suelos de diferentes texturas obtuvieron valores de RMSE entre 0,040 y 0,050. Finalmente, para corregir los datos brutos en esta investigación

fue seleccionado el modelo lineal por presentar mayor R^2 y menor RMSE (Tabla 1), para el conjunto de datos de las profundidades y para cada una por separado (Figura 4 y 5).

Tabla 1. Raíz del error cuadrático medio antes y después de la calibración (RMSE 1 y 2, respectivamente), ecuaciones de calibración y coeficientes de determinación (R^2) para el monitoreo de la humedad en las profundidades evaluadas.

Profundidades	RMSE 1	Ecuación	Modelo	R^2	RMSE2
0,0-0,4 m	0,0568	$y = 1,0185x - 0,0032$	Lineal	0,803	0,035
		$y = -0,1547x^2 + 1,0614x - 0,0054$	Polinomial Cuadrático	0,803	0,057
0,0-0,2 m	0,0497	$y = 0,784x + 0,0269$	Lineal	0,784	0,033
		$y = -1,005x^2 + 1,0388x + 0,0151$	Polinomial Cuadrático	0,793	0,049
0,2-0,4 m	0,0631	$y = 0,893x + 0,0175$	Lineal	0,908	0,036
		$y = -0,0652x^2 + 0,9133x + 0,0164$	Polinomial Cuadrático	0,908	0,048

De esta manera, después de haber realizado el ajuste, fue observado que los datos quedaron concentrados en la recta 1:1, y los coeficientes de determinación se elevaron levemente. Resultados semejantes fueron determinados por Silva et al. (2012), al mostrar que los datos después de la calibración se ajustaron a la recta 1:1, con lo cual obtuvieron ganancias significativas de precisión en la medición correcta del contenido de la humedad en el suelo y esas ganancias fueron visualizados por medio de la disminución del RMSE calculado luego de la calibración.

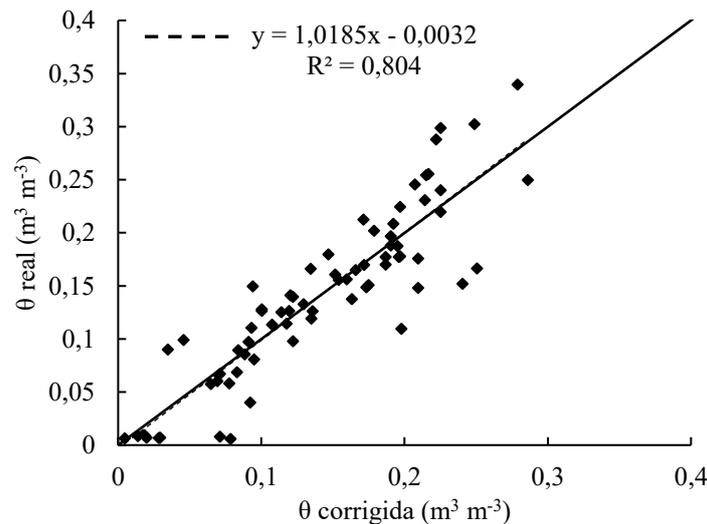


Figura 4. Verificación de la exactitud de la humedad volumétrica con el modelo generado por la calibración de toda la serie de datos.

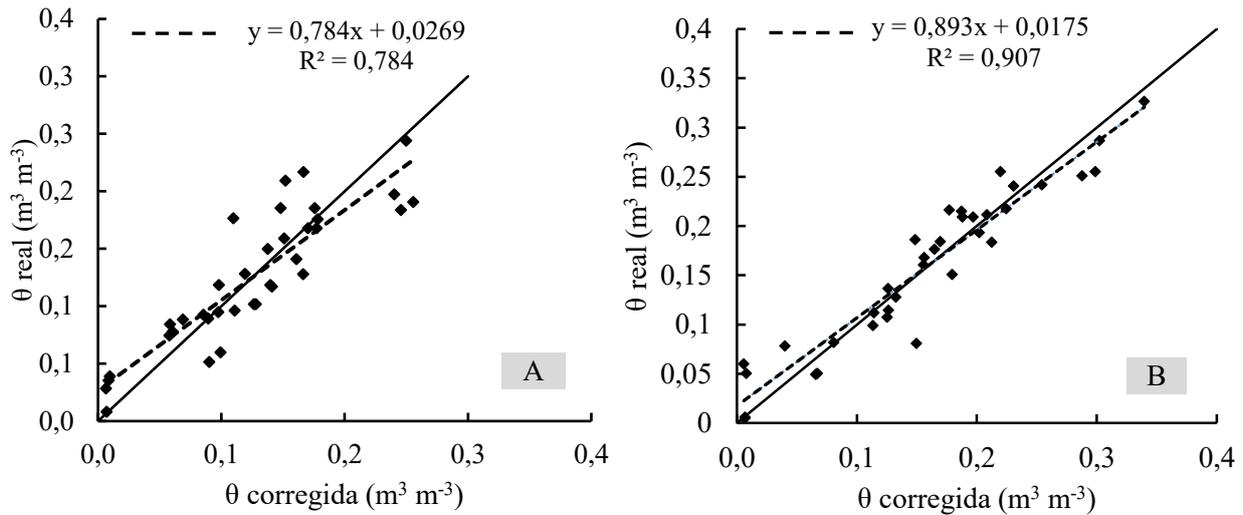


Figura 5. Verificación de la exactitud de la humedad volumétrica con los modelos generados por la calibración para las profundidades de 0-0,2 m (A) y de 0,2-0,4 m (B).

Por otro lado, la utilización de los datos obtenidos directamente con los sensores 10HS[®] (Decagon Devices) en esta investigación habría ocasionado la sobrestimación de la humedad volumétrica en la planificación del riego en trabajos posteriores. Resultados similares fueron reportados por Silva Junior et al. (2013), al verificar que el contenido de agua en el suelo medido por la sonda de capacitancia fue sobreestimado en comparación al método de estufa. Al respecto, Pizetta (2015) menciona que, una estimación imprecisa del contenido volumétrico de agua en el suelo puede sobreestimar o subestimar la lámina de riego a ser aplicada en los cultivos, pudiendo causar reducción de la productividad, problemas fitosanitarios, lixiviación de nutrientes y aumento del costo de riego.

Entre los factores que pueden haber contribuido para la sobreestimación de la humedad volumétrica registrada por los sensores 10HS[®] (Decagon Devices) en esta investigación, se encuentran los altos contenidos de hierro y al elevado grado de intemperización del suelo, pues según Rego et al. (2000) presentan 2,34 de Ki (grado de intemperización) y 270 g de $\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{kg}^{-1}$ de suelo. Por esta razón, la constante eléctrica es afectada, y consecuentemente la humedad medida en virtud de la presencia elevada de cargas positivas en el suelo analizado (Santos et al., 2010). Resultados similares fueron reportados por Kaiser et al. (2010), al evaluar muestras de suelo Rhodic Ferralsol con Ki de 2,12 y 549 dag kg^{-1} de arcilla. Portanto, de acuerdo a lo constatado en esta investigación, queda evidenciado que los sensores 10HS[®] (Decagon Devices) necesitaron ser calibrados previamente antes de ser utilizados en este tipo de suelo, una vez que presenta elevado nivel de intemperización, determinado por la presencia de bajos valores de limo y relación limo/arcilla, características éstas de los Latosolos Hapludox (Benedetti et al., 2011).

6.5 CONCLUSIONES

Los datos brutos de humedad volumétrica obtenidos con los sensores no se aproximaron a la recta 1:1, lo que indicó necesidad de calibración.

Las ecuaciones generadas con los datos antes de la calibración sobreestimaron la humedad volumétrica del suelo.

El modelo matemático seleccionado para la calibración de los sensores 10HS[®] (Decagon Devices) fue el lineal por presentar mayor coeficiente de determinación y menor error cuadrático medio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico-CNPq, aviso publico Universal proceso número: 408673/2016-8, por el apoyo financiero y a la Coordinación de perfeccionamiento de personas de nivel superior-CAPES por el otorgamiento de la bolsa de estudios para el autor principal.

6.6 LITERATURA CITADA

1. Anjos L. H. C. y P. Schad. 2018. Comparação da Classificação de Solos de acordo com o Sistema Brasileiro e os Sistemas Internacionais WRB e Soil Taxonomy. In: Batista, K. D., J. F. Lumberras, M. R. Coelho, V. A. Oliveira y J. F. Vale Júnior. 2018. Guia de Campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Roraima. p. 305-311.
2. Benedetti U. G., J. F. Vale Júnior, C. E. G. R. Schaefer, V. F. Melo y S. C. P. Uchôa. 2011. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pliopleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 35 (2):299-312.
3. Barbosa S. M. 2015. Condicionamento físico hídrico do solo como potencializador do crescimento inicial do cafeeiro. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG. 67 p.
4. Evett S. R., J. A. Tolk y T. A. Howell. 2006. Soil profile water content determination: sensor accuracy, axial response, calibration, temperature dependence, and precision. *Vadose Zone Journal*, 5 (3): 894-907.
5. FAO. Organização das Nações Unidas para a alimentação e agricultura, 2017. Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias, Brasília, 243 p.
6. Giraldi D. y R. Iannelli. 2009. Measurements of water content distribution in vertical subsurface flow constructed wetlands using a capacitance probe: benefits and limitations. *Desalination*, 243 (1-3): 182-194.
7. Gravalos I. G., D. M. Moshoub, S. J. Loutridis, T. A. Gialamas, D. L. Kateris, Th. Zisis, Z. T. Tsiropoulos y P.I. Xyradakis. 2012. Design of a pipeline sensor-based platform for soil water content monitoring. *Biosystems engineering*, 113(1): 1-10.
8. Irmak S. y A. Irmak. 2005. Performance of frequency-domain reflectometer, capacitance, and pseudo-transit time-based soil water content probes in four coarse-textured soils. *Applied Engineering in Agriculture*, 21 (6): 999-1008.
9. Kaiser D.R., D. J. Reinert, J. M. Reichert y J. P. G. Minella. 2010. Dielectric constant obtained from TDR and volumetric moisture of soils in southern Brazil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 34 (3): 649-658.
10. Kitić G. y V.A. Crnojević-Bengin. 2013. Sensor for the Measurement of the Moisture of Undisturbed Soil Samples. *Sensors*, 13 (2): 1692-1705.
11. Keller F. J., W. E. Gettys, M. J. Skove. Física, vol. 2. Tradução de Alfredo Alves de Farias. São Paulo – SP: Pearson Education do Brasil, 1999. 615 p.
12. Lima J. G. A., A. S. de Oliveira, L. S. Souza, N. D. da Silva y P. C. Viana. 2018. Calibration of a soil moisture sensor with disturbed and undisturbed soil samples from Bahia, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22 (10): 696-701.
13. Melo V. F., C. E. G. R. Schaefer, J. F. Vale Júnior y S. C. P. Uchôa. 2010. Aspectos pedológicos e de manejo dos solos de Roraima. In: Melo V. F. y R. I. Barbosa. Roraima: homem, ambiente e ecologia. Boa vista: Femact, p. 391-408.
14. Markevicius V., D. Navikas, A. Valinevicius, D. Andriukaitis y M. Cepenais. 2012. The Soil Moisture Content Determination Using Interdigital Sensor. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 18 (10): 25-28.
15. Paltineanu I.C. y J. L. Starr. 1997. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: Laboratory calibration. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 61 (6): 1576-1585.
16. Pizetta S. C. 2015. Calibração de sensores de capacitância (FDR) para estimativa da umidade em diferentes solos. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Lavras-UFV. 67 p.

17. Prevedello C.L., S.R. Maggioletto, J. M. T. Loyola, N. L. Dias y G. Beppler Neto. 2007. Balanço de água por aquisição automática de dados em cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.). Rev. Bras. Ciênc. Solo, 31 (1): 2-8.
18. Qi Z. y M. J. Helmers. 2010. The conversion of permittivity as measured by a PR2 capacitance probe into soil moisture values for Des Moines loess soils in Iowa. Soil Use and Management, 26 (1): 82-92.
19. Rego R. S., T. E. Rodrigues, J. R. N. F. Gama, A. A. C. Lima, J. M. L. Silva y W. O. Barreto. 2000. Caracterização e classificação dos solos do campo Experimental Monte Cristo, da Embrapa Roraima, Boa Vista – estado de Roraima. Belém: Embrapa Amazônia Oriental (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 58, 42 p.
20. Sanches A. A., D. P. de Souza, F. L. Ferreira de Jesus, F. C. Mendonça, E. P. Gomes y J. R. M. Pezzopane. 2019. Comparison of water consumption estimates for tropical and winter forages by FDR probes and weighing lysimeters, Semina: Ciências Agrárias, 40 (3): 1115-1126.
21. Santos M. R., J. H. Zonta y M. A. Martinez. 2010. Influência do tipo de amostragem na constante dielétrica do solo e na calibração de sondas de TDR. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 34 (2): 299-307.
22. Santos J. N., E. D. Pereira. 2013. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. Cadernos de Pesquisa, São Luís, 20 (especial): 63-71.
23. Silva Junior J. J., A. Colombo, A. S. Scalco, B. M. Silva y P. T. Lima. 2013. Calibração de sondas de capacitância para determinação de umidade em Latossolo Vermelho Distroférico. Irriga, 18 (4): 743-755.
24. Silva B. M., G. C. Oliveira, M. E. Serafim, J. J. Silva Júnior, A. Colombo y J. M. I. Lima. 2012. Acurácia e calibração de sonda de capacitância em Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro. Pesq. agropec. bras., Brasília, 47 (2): 277-286.
25. Silva I. R., E. S. Mendonça. 2007. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS et al., Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017 p.
26. Stacheder M., F. Koeniger y R. Schuhmann. 2009. New dielectric sensors and sensing techniques for soil and snow moisture measurements. Sensors, 9(4): 2951–2967.
27. Lekshmi S. U., D. N. Singh y M. S. Baghini. 2014. A critical review of soil moisture measurement. Measurement, 54: 92–105.

❖ Normas de publicação da Revista: <http://www.ucla.edu/ve/bioagro/instruc.htm>

<http://ve.scielo.org/revistas/ba/einstruc.htm>

7 CAPÍTULO III. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (K_c) DO CAMU-CAMU, COM E SEM COBERTURA VEGETAL MORTA, UTILIZANDO SENSORES DE UMIDADE 10HS® PARA O MANEJO DA ÁGUA E DOMESTICAÇÃO EM TERRA FIRME

7.1 RESUMO

A determinação dos valores do K_c é importante para o conhecimento das necessidades hídricas das culturas, tanto em termos de manejo de água na irrigação quanto na otimização do uso dos recursos hídricos na agricultura. Nesse sentido, objetivou-se determinar o coeficiente de cultura do camu-camu (K_c), com e sem cobertura vegetal morta (CVM), utilizando sensores de umidade do solo 10HS®. Para determinar os valores de K_c , foi necessário calcular a Evapotranspiração de referência (E_{To}) pelo método de Penman-Monteith/FAO, e a Evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) pelo método do balanço hídrico por meio da medição indireta da umidade no solo com sensores de umidade 10HS®. Na fase FI de formação e de desenvolvimento vegetativo, na fase FII de pleno estabelecimento, e na fase FIII de máxima frutificação das plantas de camu-camu, com e sem cobertura vegetal morta (CVM), foi determinado que os valores de K_c variaram de 0,4 a 0,7; de 0,7 a 1,0; e de 0,9 a 1,3, respectivamente. O monitoramento em tempo real do teor de água com sensores de capacitância permite maior controle da irrigação. Além disso, o consumo de água pelas plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade sem CVM foi 19,0; 21,9; 25,3; 24,2; 19,3; e 17,4% superior as plantas com CVM.

Palavras chave: *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh; Evapotranspiração; Balanço hídrico; Caçari; Constante dielétrica; Umidade volumétrica; Cobertura vegetal morta.

CHAPTER III. DETERMINATION OF THE CROP COEFFICIENT (K_c) OF CAMU-CAMU, WITH AND WITHOUT VEGETABLE MULCH, USING 10HS[®] MOISTURE SENSORS FOR WATER MANAGEMENT AND DOMESTICATION ON UPLANDS

ABSTRACT

The determination of K_c values is important for the knowledge of the hydric needs of the crops, both in terms of water management in irrigation and in the optimization of the use of water resources in agriculture. In this sense, the objective was to determine the crop coefficient of camu-camu (K_c), with and without vegetable mulch (VM), using 10HS[®] soil moisture sensors. To determine the values of K_c, it was necessary to calculate the reference evapotranspiration (E_{To}) by the Penman-Monteith/FAO method, and the crop evapotranspiration (E_{Tc}) by the water balance method by indirect measurement of soil moisture with 10HS[®] moisture sensors. In the FI phase of formation and vegetative development, in the FII phase of full establishment, and in the FIII phase of maximum fruiting of the camu-camu plants with and without mulch (CVM), it was verified that the K_c values varied from 0.4 to 0.7; from 0.7 to 1.0; and 0.9 to 1.3, respectively. Real-time monitoring of water content with capacitance sensors allows greater control of irrigation. In addition, water consumption by 2, 3, 4, 5, 6 and 7 year old camu-camu plants without VM was 19.0; 21.9; 25.3; 24.2; 19.3; and 17.4% higher than plants with VM.

Key words: Evapotranspiration; Hydric balance; Dielectric constant; Volumetric humidity; *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh; Vegetable mulch.

7.2 INTRODUÇÃO

Dentro da diversidade de fruteiras nativas que existem na Amazônia, o camu-camu arbustivo resalta por seu alto teor de ácido ascórbico que varia de 845 a 7.355,02 mg/100 g de polpa, e compostos antioxidantes que ajudam na prevenção de doenças degenerativas no corpo humano, fato que tem gerado grande interesse de países da Europa e Ásia para ser utilizado nas indústrias de alimentos, cosméticos e de fármacos (PINEDO et al., 2010; CHAGAS et al., 2015; DAMAZIO et al., 2017; FIDELIS et al., 2020).

Naturalmente o camu-camu se desenvolve nas margens dos rios e lagos de toda a bacia Amazônica. No estado de Roraima extremo norte do Brasil, a ocorrência de populações nativas de camu-camu é significativa, no entanto, a produção de frutos nessas condições não garante contínua disponibilidade do produto em vista da sazonalidade ocasionada pelos diversos elementos edafoclimáticas. Dessa forma, torna-se imprescindível a domesticação *ex situ* da cultura em terra firme, através de um manejo agrônômico adequado com o uso de tecnologias para proporcionar maiores condições de desenvolvimento e produção.

Dentre das tecnologias à domesticação, a irrigação é muito importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, no entanto, para suprir as necessidades hídricas adequadas, o conhecimento da evapotranspiração de referência (ET_o), da cultura (ET_c), e do coeficiente de cultura (K_c) é fundamental, uma vez que a demanda hídrica das plantas variam segundo a radiação solar incidente no local, tipo de solo, variedade, estágio e idade, e tratos culturais adotados (MENDOÇA et al., 2007; CHAGAS et al., 2013).

A ET_o, pode ser calculada por meio de lisimetria, pelo método do Tanque Classe A, e por meio de equações sustentadas em dados agroclimatológicos (PEREIRA et al., 1997). A ET_c pode ser medida por métodos baseados no balanço hídrico no solo (BHS), correlações de vórtices turbulentos e o método do balanço de energia razão de Bowen, e os valores de K_c são obtidos pela razão ET_c/ET_o (CHAGAS et al., 2013). No tocante, ao método do BHS é somatória da quantidade de água que é adicionada, armazenada e retirada do solo na produção agrícola (LIBARDI, 1995). Dentre dos parâmetros para obter o BHS, a variação da lâmina de água disponível no solo entre duas irrigações sucessivas tem que ser avaliada. Dessa forma, o conhecimento e monitoramento do conteúdo de água no solo torna-se necessário para o manejo da irrigação (KITIC; CRNOJEVIC-BENGIN, 2013).

O conteúdo de água no solo pode ser quantificado mediante métodos diretos e indiretos. Dentre os métodos diretos, o gravimétrico é o mais utilizado, pois consiste em remover a água de uma amostra de solo por evaporação. Já os métodos indiretos estão em

crescente utilização, não são destrutivos, fornecem medições quase instantâneas em resposta às propriedades eletromagnéticas do solo (PALTINEANU; STARR, 1997; PIZETTA, 2015). Entre os métodos indiretos, destaca-se a utilização da técnica FDR (Reflectometria no Domínio de Frequência), é um método que mede a umidade no solo por meio da propriedade de permissividade dielétrica (SUSHA LEKSHMI et al., 2014).

Adicionalmente, o uso de cobertura vegetal morta (CVM), é uma prática muito recomendada uma vez que contribui para o desenvolvimento das culturas reduzindo a perda de água, diminuindo a erosão superficial e incrementando a umidade do solo (BORGES et al., 2014). Assim, Murga-Orrillo et al. (2016) constataram que o uso de cobertura morta com restos vegetais no feijão-caupi reduziu o consumo de água em 19,4%, em relação ao solo sem cobertura.

A quantificação do consumo de água pelas culturas é de suma importância para diversas aplicações na agricultura, deste modo, para as culturas de ciclo curto e para fruteiras domesticadas já existem informações que vem sendo utilizadas (ALLEN et al., 2006). No entanto, pesquisas que tratem da estimativa dos valores de Kc desde a implantação até seu completo desenvolvimento em fruteiras nativas com alto potencial como o camu-camu, ainda não foram desenvolvidos. Nesse contexto, com a finalidade de se obter informações quanto à necessidade hídricas das plantas de camu-camu em suas diferentes fases de desenvolvimento, objetivou-se determinar o coeficiente de cultura (Kc) do camu-camu, com e sem cobertura vegetal morta (CVM), utilizando sensores de umidade do solo 10HS[®] para o manejo da água e domesticação em terra firme.

7.3 MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

A pesquisa foi conduzida durante o período de junho de 2017 a junho de 2019 na área experimental do setor de fruticultura, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima, Campus Cauamé, Município de Boa Vista, RR, localizada nas coordenadas geográficas de referência: 2° 52' 17" N; 60° 42' 46" W e altitude de 90 m.

O clima da região é do tipo Aw segundo a classificação Climática de Köppen (ALVARES et al., 2013), se caracteriza por ser tropical chuvoso, quente úmido e com estação seca bem definida. A estação seca prolonga-se de setembro a março, sendo os meses de janeiro, fevereiro e março os de maiores déficits hídricos, e a estação chuvosa tem início em abril e estende-se até setembro, com maiores concentrações de chuvas nos meses de maio, junho e julho, sendo a precipitação pluvial média anual em torno de 1700 mm (ARAÚJO et al., 2001). O solo se caracteriza como um Latossolo Amarelo Distrófico, textura média e densidade média de 1,5 g cm⁻³ na profundidade de 0 a 0,5 m (VENÂNCIO, 2013).

Transplântio das plantas de camu-camu

Para o transplântio das plantas de camu-camu foram abertas 6 covas com dimensões de 0,8 x 0,8 x 0,8 m (Figura 1), em seguida foi realizada a calagem de acordo as recomendações de Viégas et al. (2004). Após 30 dias, 6 plantas de camu-camu, sendo cada duas com 2, 4 e 6 anos de idade com características morfológicas semelhantes em altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa e número de ramos foram transplantadas.

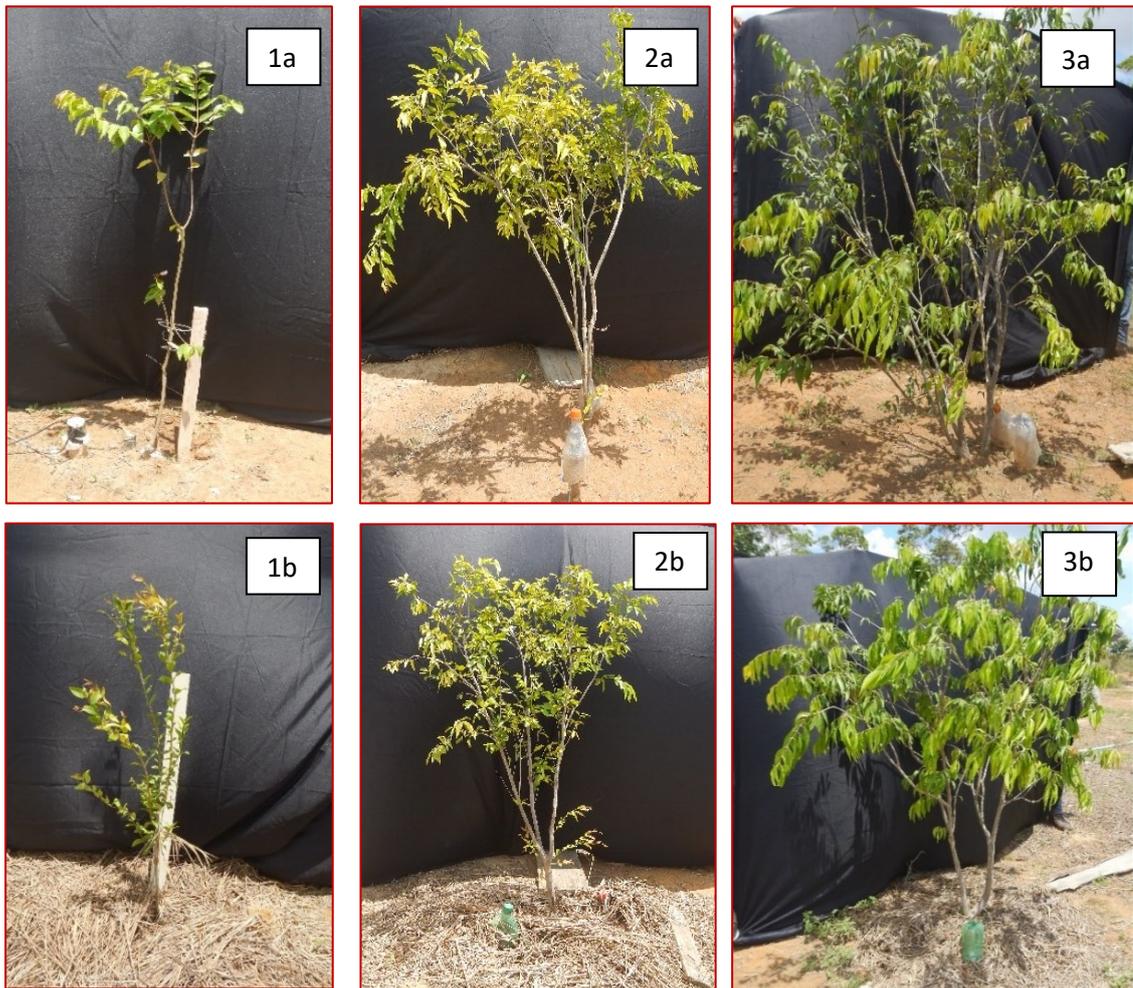
As plantas com 2 anos de idade foram provenientes do viveiro de mudas da Embrapa/RR, produzidas via propagação vegetativa por estaca. As outras plantas com 4 e 6 anos de idade também foram produzidas pelo mesmo método e foram obtidas dos campos experimentais Água Boa e Serra da Prata, ambos pertencentes a mesma empresa de pesquisa.

Figura 1. Detalhes da abertura das covas (A), obtenção de plantas (B), Traslado (C) e transplântio (D) das plantas de camu-camu na área experimental.



Conjuntamente, foi realizada a adubação, segundo a idade das plantas, de acordo com Viégas et al. (2004). Além disso, foi incorporado 10 kg de esterco curtido de galinha como fonte de matéria orgânica. Posteriormente, após o transplântio foi colocada cobertura vegetal morta (CVM) composta de capim (*Trachypogon plumosus*) em uma planta de cada idade na projeção da copa com espessura de 15 cm. Destacasse-se que a cobertura vegetal morta foi reposta a cada 5 meses devido a sua decomposição (Figura 2).

Figura 2. Plantas com 2 anos (1a-sem, 1b-com CVM), plantas com 4 anos (2a- sem, 2b- com CVM) e plantas com 6 anos (3a- sem, 3b-com CVM).



Monitoramento da umidade volumétrica

O monitoramento da umidade volumétrica no solo foi realizado com sensores 10HS[®] (Decagon Devices) previamente calibrados, de acordo com a metodologia de SILVA et al. (2012). Os sensores antes de ser colocados no solo foram acondicionados em canos de PVC, com a finalidade de proteger as hastes de fibra de vidro de 10 cm de comprimento (Figura 3). As leituras dos dados de umidade foram armazenadas em Data Logger-Em5B[®] (Decagon Devices).

Figura 3. Detalhes da Calibração (A) e acondicionamento dos sensores (B), e Data logger-Em5b® (C) para o registro dos dados de umidade volumétrica no solo.



Por outra parte, os dados hídricos de VBI (Velocidade Básica de Infiltração) de 12 mm h^{-1} , umidade na capacidade de campo ($\theta_{cc} = 0,23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), no ponto de murcha ($\theta_{pm} = 0,12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), da umidade crítica de $0,18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e densidade do solo de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ foram adotados de Venâncio (2013).

Instalação dos sensores de umidade do solo 10HS®

Os sensores de umidade do solo 10HS® (Decagon Devices) foram instalados dentro da área do raio da copa das plantas de camu-camu com 2, 4 e 6 anos de idade no início da pesquisa com a finalidade de ter a maior influência do sistema radicular sobre as sondas. Os sensores foram colocados na profundidade de 0,3 m aproximadamente.

Manejo da irrigação

No campo, a cultura do camu-camu foi irrigada por aspersão convencional utilizando aspersores da Asperjato Junior com dois bocais (preto e vermelho), que originalmente operavam a pressão de serviço de 2 bar e vazão de 750 l/h e um raio de alcance de 13 m. Para as condições de trabalho retirou-se o bocal de cor vermelha resultando numa pressão de serviço de 1 bar, vazão de 1800 l/h e raio de alcance de 9 m (Figura 4). O turno de rega foi a cada 4 dias e feita nos finais da tarde, em horas tarde de menor velocidade do vento para diminuir a deriva da irrigação.

No entanto, à medida que as plantas se estabeleceram foi verificado que as plantas com 4 e 6 anos de idade consumiram maior quantidade de água. Nesse sentido, foi aplicada uma lâmina de irrigação diferente para cada idade com a finalidade de evitar o estresse hídrico.

Figura 4. Sistema de irrigação por aspersão convencional na área experimental de camu-camu.



A lâmina de irrigação aplicada foi segundo a idade das plantas de camu-camu ao longo do período de avaliação (Tabela 1).

Tabela 1. Lâminas de irrigação aplicadas as plantas de camu-camu durante dois anos de avaliação, de junho de 2017 a junho de 2019.

Período	Plantas com 2 anos	Plantas com 4 anos	Plantas com 6 anos
De junho, 2017 - junho, 2018	3,13 mm	13,83 mm	17,45 mm
Período	Plantas com 3 anos	Plantas com 5 anos	Plantas com 7 anos
Julho, 2018 - junho 2019	9,71 mm	15,89 mm	20,18 mm

Tratos culturais

O controle das ervas daninhas foi realizado de forma manual e contínua na área da influência da copa, e mensalmente na área toda foi realizada a remoção das ervas daninhas com máquina roçadeira. Além disso, em todas as plantas de camu-camu foi realizado a remoção dos brotos ladrões com tesoura de poda. As cochonilhas foram coletadas em sacolas de forma manual e logo foram enterradas a 0,8 m. Nas plantas com 2 e 6 anos de idade foram realizadas podas de formação e frutificação, respectivamente.

Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

Para o cálculo da ET_o foi utilizada a Equação de Penman-Monteith/FAO, com base na planilha desenvolvida por Conceição (2006). O modelo utilizou as seguintes informações climáticas: (a) temperatura máxima, (T_{max}); (b) temperatura mínima (T_{min}); (c) umidade relativa do ar (UR); (d) velocidade do vento (V_v); e, (e) Radiação solar (R_s). Os dados foram fornecidos pela Estação Meteorológica automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de Boa Vista/RR.

Estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c)

Estimativa da Evapotranspiração da cultura (ET_c)

A ET_c foi calculada a partir do balanço hídrico no solo utilizando a Equação 1 (Eq. 1).

$$ET_c = P + I + AC - DP - ES \pm \Delta A \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

P: precipitação efetiva

I: irrigação

AC: ascensão capilar da água

DP: drenagem profunda

ES: escoamento superficial

ΔA : variação do armazenamento de água.

Nesta pesquisa, foi desconsiderado o escoamento superficial de água, em virtude de o solo apresentar declive suave e ser naturalmente bem drenado. Do mesmo modo, a ascensão capilar foi considerada nula devido ao nível freático ser profundo e pouco profundo com 6,3 e 10 m de profundidade, no período de estiagem, respectivamente (AVILA, 2007). Assim, também a drenagem profunda foi desconsiderada devido a aplicação de uma lâmina de irrigação segundo a idade das plantas.

A umidade do solo foi determinada na base de volume (θ) ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) antes e depois de cada irrigação com o sensor de umidade do solo 10HS[®] (Decagon Devices) previamente calibrado.

A coleta dos dados ocorreu a partir do dia 01 de junho de 2017, 60 dias após o transplante, quando as plantas já estavam estabelecidas.

Estimativa o coeficiente da cultura (Kc)

A estimativa do Kc foi determinada pela relação dos valores da ETc e ETo (DOORENBOS; PRUITT, 1977) (Eq. 3).

$$Kc = ETc / ETo \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

Kc = coeficiente de cultura;

ETc = evapotranspiração da cultura;

ETo = evapotranspiração de Penman-Monteith/FAO

Determinação da área foliar

Foram coletadas 100 folhas aleatoriamente das plantas de camu-camu em cada fase de desenvolvimento. Depois foram levadas para o Laboratório de Pós-Colheita da Embrapa Roraima, onde foi mensurado o comprimento do limbo foliar ao longo da nervura principal (C) e a largura máxima do limbo foliar perpendicular à nervura principal (L), de cada folha, por meio de medições com paquímetro digital. Em seguida, a área real de cada folha (AF) foi determinada com a utilização de um medidor eletrônico (Portable leaf Area Meter, Li-cor Mod. 3100). Para determinar a área foliar total das plantas, foi realizada a defoliação total, e em seguida foi realizada contagem de todas as folhas manualmente, logo essa quantidade foi multiplicada pela área foliar média obtida das 100 folhas (Figura 5).

Figura 5. Detalhes da Mensuração do comprimento (1), largura (2), área foliar (3), e contagem total (4) das folhas das plantas de camu-camu.



Análise da distribuição do sistema radicular e da profundidade efetiva das raízes

Neste estudo foi analisado a distribuição do sistema radicular das plantas em diferentes idades (3, 5 e 7 anos), com e sem cobertura vegetal morta (CVM), mediante o método da trincheira (BRASIL et al., 2007). Foram abertas 6 trincheiras a 0,6 m de distância do caule da planta, com dimensões de 1,40 m de largura x 1,80 m de comprimento x 1,40 m de profundidade, em forma longitudinal à linha das plantas de camu-camu.

A avaliação das raízes foi realizada segundo a metodologia de Melo et al. (2019), na qual a parede vertical da trincheira sob a projeção das plantas foi escarificada, ou seja, foi removida uma fina camada de solo ($\cong 0,05-0,010$ m), com um jato de água até expor o máximo de raízes. Após este procedimento as raízes foram pintadas com tinta spray de cor verde para aumentar o contraste em relação ao solo da parede da trincheira (Figura 6). Em seguida, um gride de metal com as dimensões da trincheira foi colocado em perfeito contato sobre as raízes na parede vertical para aquisição das imagens digitais. O gride foi constituído por quadrículas com dimensões de 10 x 10 cm.

Figura 6. Detalhes da abertura das trincheiras (A), exposição (B) e pintura de raízes (C) das plantas de camu-camu.



A aquisição das imagens digitais foi efetuada com câmera fotográfica digital semiprofissional com resolução espacial de 32 megapixels. Após, as imagens foram corrigidas e alinhadas com o uso do software Office Picture Manager versão 2013 e finalmente foram submetidas à quantificação das seguintes variáveis radiculares: volume (mm^3) e área superficial (mm^2) utilizando o software Safira (JORGE; SILVA, 2010).

Com os resultados obtidos em cada unidade de amostragem do grid (quadrícula) procedeu-se com a estimação da semivariância amostral. Para tal, utilizou-se o centroide de cada parcela totalizando 100 pontos amostrais. Após o ajuste do modelo ao semivariograma, procedeu-se com a estimação dos pontos não amostrados a fim de buscar melhor visualização da distribuição das variáveis radiculares no perfil do solo. Para tal, foi utilizada a krigagem ordinária através do pacote geoR (RIBEIRO; DIGGLE, 2006) e do software R (R CORE TEAM, 2016).

Em seguida foi estimada a profundidade efetiva das raízes em cada idade, que corresponde a camada de solo explorada efetivamente pelas raízes, ou seja, abrange a camada desde a superfície até a profundidade onde se concentra a maior parte das raízes. De acordo com França Junior (2003); Smit et al. (2000); Cunha et al. (2010), essa profundidade é onde se concentra pelo menos o 80% do total das raízes absorventes da cultura estudada.

Nesse sentido, foi avaliado o volume total de raízes a cada 0,3 m até a profundidade de 1,2 m; esse volume de raízes foi transformado para percentagem, em função do total de volume registrado em todo o perfil de solo. Logo a profundidade efetiva (Z) foi calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$Z = \%raiz \times z1 + \%raiz \times z2 + \%raiz \times z3 + \%raiz \times z4 \dots\dots$$

onde:

Z=profundidade efetiva do sistema radicular.

%raiz= percentagem de raiz (transformar a número para ser utilizado na fórmula).

z1, z2, z3, z4= profundidade em metros correspondente a cada camada estudada.

7.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características vegetativas das plantas de camu-camu

Na Tabela 2 mostram-se os valores das diferentes características vegetativas mensuradas de acordo a idade das plantas de camu-camu. Destaca-se que a partir do quinto ano foi registrado floração e produção de frutos, sendo mais representativo estas características ao sexto e sétimo ano de idade com média de 6 e 12 kg planta⁻¹, respectivamente. Também foi determinado que a área foliar das plantas de camu-camu foi, em média, de 11,13 cm² com valores mínimos e máximos de 5,78 e 17,34 cm², respectivamente, erro padrão (ep) de 0,25 cm² e CV de 22,52%.

Tabela 2. Características vegetativas das plantas de camu-camu em diferentes idades.

Características vegetativas	Idade das plantas de camu-camu (anos)					
	2	3	4	5	6	7
NRB	1	2	2	3	3	3
NRT	4	25	54	145	185	203
H (m)	0,7	1,25	1,55	1,87	2,2	2,65
DCO (m)	0,15	0,65	1,6	1,94	2,65	3,0
DC (m)	0,015	0,06	0,11	0,14	0,17	0,2
AF (m ²)	0,50	1,55	3,11	5,44	6,99	7,77
Área foliar (cm ²)	5,78-11,13-17,34; ep: 0,25 cm ² ; Cv: 22,52%					

Onde: **NRB**: número de ramos basais, **NRT**: número de ramos terminais, **H**: altura de planta (m), **DCO**: diâmetro de copa (m), **DC**: diâmetro do caule (m), **AF**: área foliar de toda a planta (m²).

Volume do sistema radicular das plantas de camu-camu

De forma geral foi constatado que a expansão do volume de raízes das plantas de camu-camu foi diminuindo em função da profundidade do solo. Além disso, as raízes das plantas em ausência de cobertura vegetal morta (CVM) abrangeram maior profundidade de solo. Nesse sentido, Robinson; Saúco (2010) relatam que a distribuição das raízes é fortemente influenciada pelo tipo do solo, porosidade, compactação, e disponibilidade de água e nutrientes, entre outros.

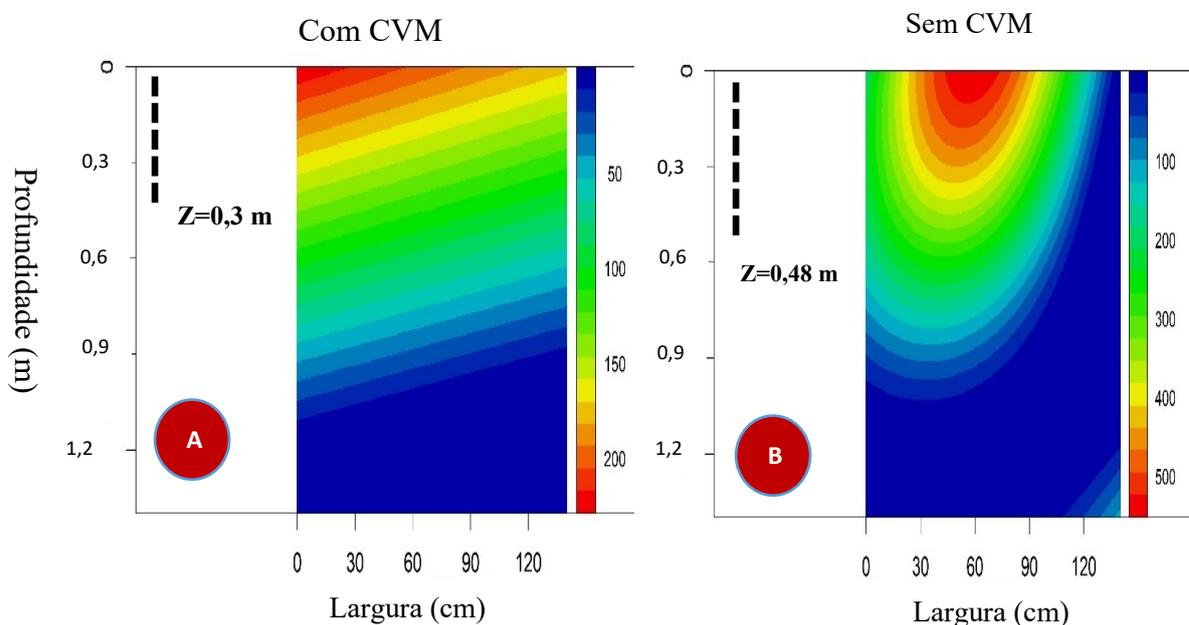
O uso de CVM aumentou e manteve o solo mais úmido, pelo fato de minimizar as perdas de água por evaporação das camadas superficiais. Além disso, produto da decomposição do material durante o período de avaliação, acumulou-se matéria orgânica, a qual melhorou as condições físicas de porosidade e densidade do solo, sendo de 40% (25% de macroporos e 15%

de microporos) e $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, na superfície (0,0-0,2 m). E de 33% (23% dos macroporos e 10% dos microporos) e densidade de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ na camada de 0,2-0,4 m de profundidade. Deste modo, Santos; Pereira (2013) referem que a matéria orgânica permite maior agregação e coesão entre as partículas, tornando o solo mais poroso e com maior retenção de água; afirmação que coincide com os resultados encontrados neste trabalho.

Assim, a distribuição do sistema radicular das plantas com 3 anos de idade com CVM (Figura 7A) teve abrangência desde a superfície do solo até 0,8 m de profundidade aproximadamente. No entanto, a maior concentração de volume de raízes foi na camada de 0-0,3 m, com 200 mm^3 . Na distância lateral a distribuição radicular foi assimétrica em relação a posição do caule principal, sendo que foi maior nos primeiros 0,3 m. Por outro lado, quando não foi colocada CVM (Figura 7B), a distribuição radicular teve maior expansão, chegando aproximadamente até os 0,9 m de profundidade, porém observa-se que a maior predominância do volume do sistema radicular (500 mm^3) foi desde a superfície até aproximadamente 0,5 m de profundidade. Em relação a distância lateral, o desenvolvimento das raízes foi assimétrico em relação a posição do caule principal, pois as raízes abrangeram de maneira uniforme o perfil do solo.

A profundidade total que alcançaram as raízes das plantas de camu-camu com 3 anos de idade, com e sem CVM, foi de 0,75 e 0,85 m, respectivamente. No entanto, a profundidade efetiva das raízes, equivalente a 80% da concentração do volume radicular, com e sem CVM, foi de 0,3 m (Figura 7A) e 0,48 m (Figura 7B), respectivamente.

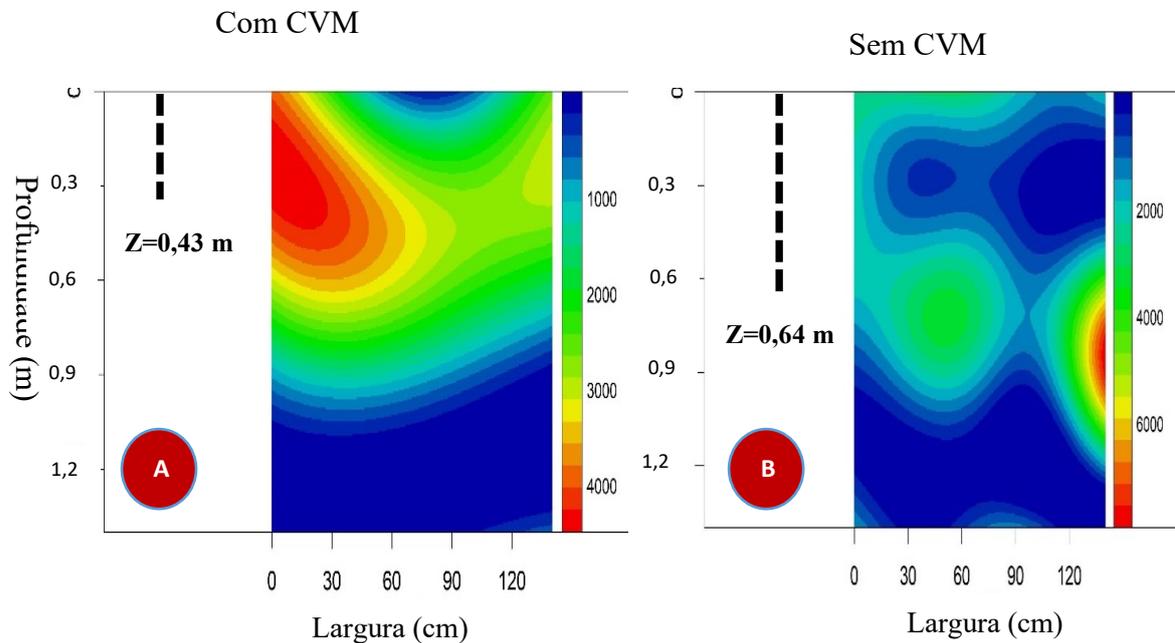
Figura 7. Distribuição do sistema radicular e profundidade efetiva das raízes de plantas com 3 anos de idade, com e sem cobertura vegetal morta (CVM).



Na Figura 8A, que corresponde as plantas de camu-camu com 5 anos de idade com CVM, observa-se que houve maior desenvolvimento radicular, além disso a distribuição radicular foi simétrica abrangendo todo o perfil do solo em largura até aproximadamente 1,0 m de profundidade.

Porém o maior volume de raízes (4000 mm^3) foi constatado até 0,7 m de profundidade. Para as plantas da mesma idade sem CVM (Figura 8B), foi observado que a distribuição radicular foi assimétrica no perfil da parede vertical da trincheira, mas, foi verificado que as raízes tiveram maior expansão em profundidade, abrangendo até aproximadamente 1,2 m. No entanto, o maior volume de raízes (6000 mm^3) foi concentrado na camada de 0,7 a 1,0 m de profundidade. A profundidade total que alcançaram as raízes das plantas de camu-camu com 5 anos de idade, com e sem CVM, foi de 1,0 e 1,15 m, respectivamente, pelo contrário, a profundidade efetiva das raízes, equivalente a 80% da concentração do volume radicular, com e sem CVM, foi de 0,43 m (Figura 8A) e 0,64 m (Figura 8B), respectivamente.

Figura 8. Distribuição do sistema radicular e profundidade efetiva das raízes de plantas com 5 anos de idade com e sem cobertura vegetal morta (CVM).

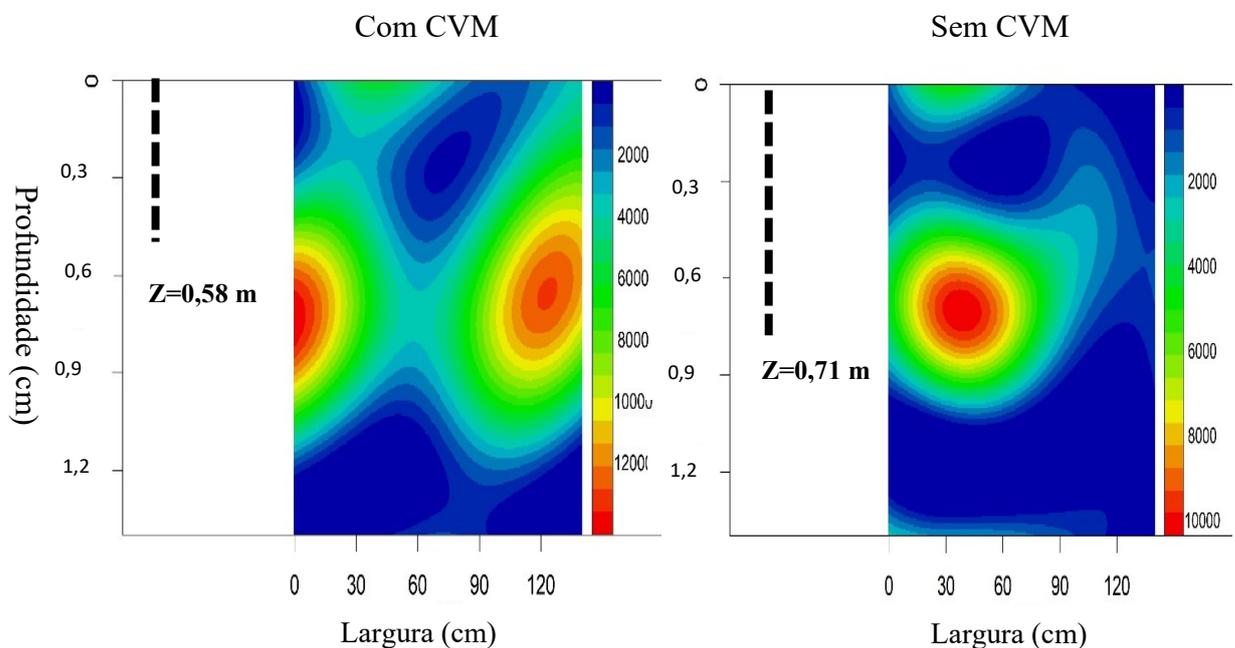


O maior volume de raízes das plantas de camu-camu com 7 anos de idade com CMV (Figura 9A) concentrou-se na camada de 0,6 a 0,9 m (12000 mm^3), no entanto, foi observado que houve presença de raízes até aproximadamente 1,2 m de profundidade. Além disso, observa-se que a distribuição do volume de raízes distribuiu-se de maneira assimétrica na parede do perfil do solo. Quando não foi utilizada CVM (Figura 9B), observa-se que as raízes

alcançaram maior profundidade, superando os 1,2 m, porém, a maior concentração do volume foi na camada de 0,6 a 0,9 m (10000 mm³). Na distância lateral, foi observado que houve distribuição assimétrica, pelo fato que as raízes não ocuparam todo o perfil do solo.

A profundidade total que alcançaram as raízes das plantas de camu- camu com 7 anos de idade, com e sem CVM, foi de 1,15 e de 1,30 m, respectivamente. Porém, a profundidade efetiva das raízes, equivalente a 80% da concentração do volume radicular, com e sem CVM, foi de 0,58 m (Figura 9A) e 0,71 m (Figura 9B), respectivamente.

Figura 9. Distribuição do sistema radicular e profundidade efetiva das raízes de plantas com 7 anos de idade, com e sem cobertura vegetal morta (CVM).



Os resultados obtidos nesta pesquisa são muito relevantes para a cultura do camu-camu, pois permitirá ter uma melhor aproximação da camada do solo a ser umedecida. Nesse sentido, Bernardo (1986) refere que o valor profundidade efetiva do sistema radicular serve para os cálculos da lâmina líquida ou bruta de irrigação a ser aplicada as culturas.

Resultados similares de 0,6 m de profundidade efetiva de raízes foram reportados por Calgaro et al. (2012), para a cultura da acerola (*Malpighia glabra*) em plena produção. Também, Neves et al. (2000) verificaram que a profundidade efetiva do sistema radicular variou de 0,50 a 0,69 m, para três variedades de acerola (*Malpighia glabra*). Para a cultura de bananeira (*Musa spp*), Santana et al. (2012) reportaram que o 80% da predominância do sistema radicular encontra-se a 0,61 m utilizando irrigação por aspersão convencional. Para goiabeira, Bassoi et al. (2001) reportaram que cerca de 80% de todo o sistema radicular encontra-se aos 0,4 m aos

3 meses, 0,6 m aos 6 e 9 meses, e 0,8 m aos 12, 18 e 34 meses. Para citrus, Davoglio Junior et al. (2006) referem que a profundidade efetiva do sistema radicular para as plantas de 4,5 anos de idade variou de 0,57 a 0,63 m; e para a cultura de café arábica (*Coffea arabica*) fertirrigada por meio gotejamento, Barreto et al. (2006) verificaram que o sistema radicular efetivo situava-se entre 0,63 m e 0,70 m.

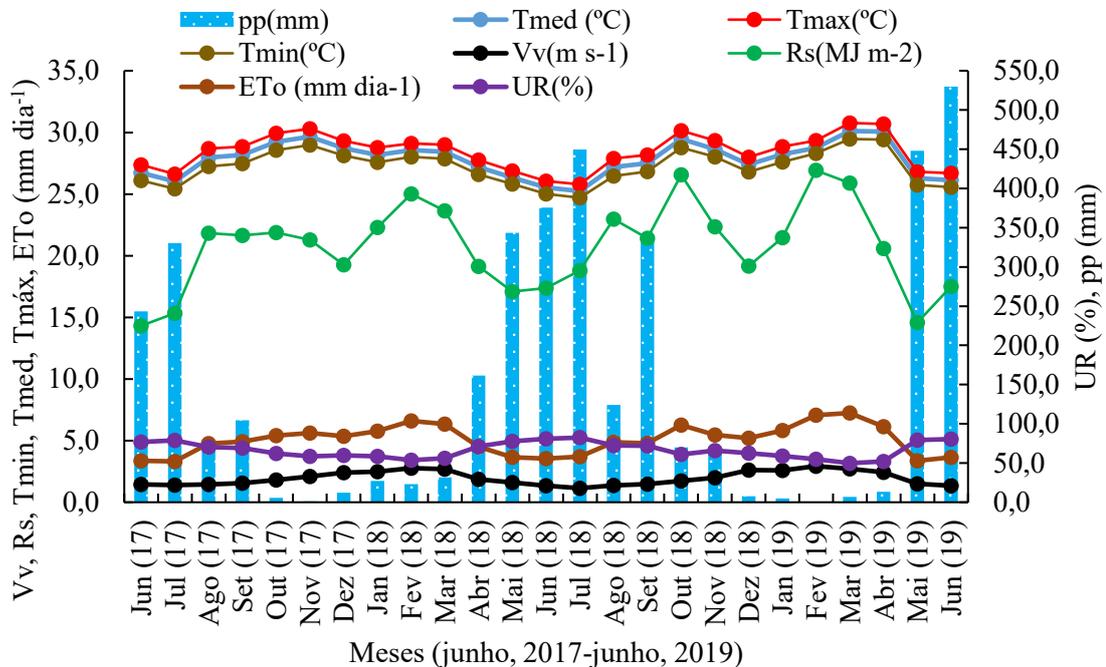
Elementos climáticos e evapotranspiração de referência (ET_o)

Durante a condução da pesquisa, a temperatura média do ar foi de 27,8 °C com máxima de 28,45 °C e mínima de 27,2 °C; a umidade relativa do ar média foi de 66,6%, com máxima e mínima de 82,4 e 49,8%, respectivamente. A velocidade média do vento foi de 1,9 m s⁻¹ com máxima e mínima de 2,9 m s⁻¹ no mês de fevereiro e de 1,1 m s⁻¹ no mês de julho, respectivamente. A radiação solar média foi de 20,7 MJ m⁻² com máxima e mínima de 26,9 no mês de fevereiro e de 14,3 MJ m⁻² no mês de junho, respectivamente. A precipitação pluvial média anual acumulada foi de 1896,1 mm, sendo 94,9% distribuídos nos meses de abril até setembro, que corresponde à estação chuvosa local (INMET, 2017-2019).

A ET_o (junho, 2017 a junho, 2019) variou em função das características climáticas do local de trabalho. A máxima ET_o foi registrada nos meses de janeiro, fevereiro e março, tanto para o período de: “junho, 2017- junho, 2018” e “julho, 2018- junho, 2019” com 5,8; 6,6 e 6,3 e 5,8; 7,1 e 7,2 mm dia⁻¹, respectivamente. Estes valores são diretamente proporcionais aos valores de temperatura máxima do ar, baixa umidade relativa do ar, elevada velocidade do vento, alta radiação solar e escassa precipitação pluvial. Por outro lado, valores mínimos de 3,5 mm dia⁻¹ em média, foram registrados nos meses de maio, junho e julho, que corresponde ao período de chuvas (Figura 10).

Resultados semelhantes de ET_o variando entre 1,7 e 6,6 mm dia⁻¹ foram reportados por Murga-Orrillo et al. (2016), para a mesma localidade e utilizando o mesmo método de análise. Do mesmo modo, Araújo et al. (2007), estudando a estimativa da ET_o por diferentes métodos, reportaram médias que oscilaram entre 3, 3 e 5 mm dia⁻¹ para a localidade de Boa Vista-RR, sendo a mínima reportada no mês de junho e a máxima no mês de março.

Figura 10. Representação gráfica da variação dos elementos climáticos e da evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelo método de Penman-Monteith/FAO para Boa Vista-RR, durante o período de junho de 2017 a junho de 2019.



Onde: pp (precipitação pluvial), Tmax (Temperatura máxima), Vv (velocidade do vento), Tmed (temperatura média), Tmin (Temperatura mínima), Rs (Radiação solar), UR (Umidade relativa), ETo (Evapotranspiração de referência).

Evapotranspiração da cultura (ETc)

A ETc das plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos idade, com e sem CVM, são mostrados nas Figuras 11, 12 e 13. De maneira geral, o uso de CVM diminuiu a ETc em todas as idades. Nesse sentido, Allen et al. (1998) referem que a cobertura do solo com palha é apresentada como uma prática cultural mitigadora dos processos naturais que aumentam a eficiência do uso da água, por atuar como uma barreira do fluxo de água do solo para a atmosfera.

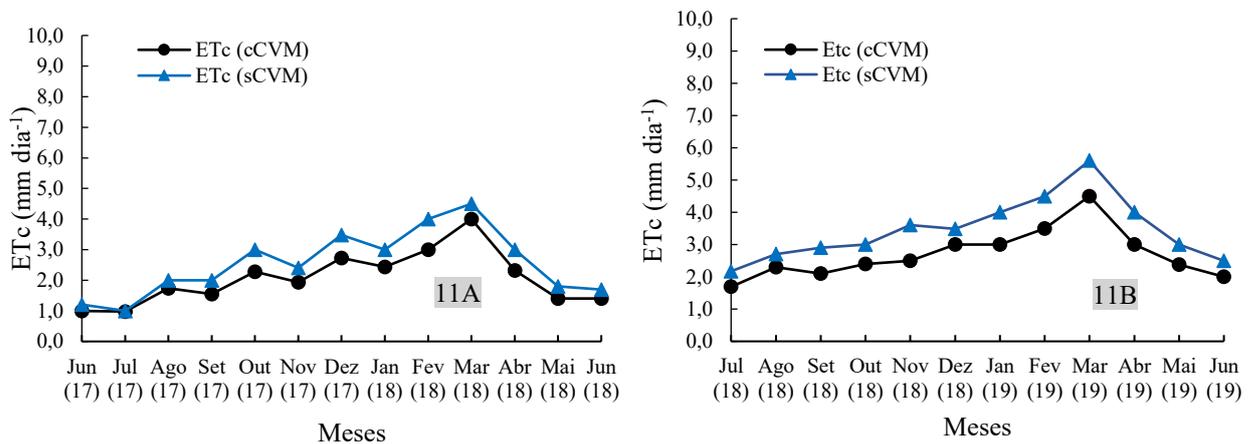
A ETc também variou com a idade e desenvolvimento das plantas de camu-camu justificado pelo aumento da área foliar (0,5 a 7,8 m²) e a expansão do sistema radicular (12,9 a 353,6 cm³) (Tabela 1) da fase de desenvolvimento vegetativo até a fase reprodutiva, respectivamente. Resultados semelhantes foram reportados por Coelho Filho et al. (2004), na cultura de lima ácida (*Citrus aurantiifolia*) onde os autores afirmaram que sob uma condição comum de demanda atmosférica, a transpiração aumenta proporcionalmente à área foliar. Nesse sentido, Viana; Azevedo (2003) referem que quanto maior e a área foliar e o sistema radicular

as plantas podem evapotranspirar mais. Também, Posse et al. (2009) citam que o desenvolvimento da área foliar está relacionado ao próprio desenvolvimento da cultura e consequentemente, com sua capacidade de realizar fotossíntese, sintetizar biomassa e consumo de água.

Adicionalmente as condições climáticas do local de trabalho também influenciaram sobre os valores da ETc, sendo que a mínima e máxima foi registrada nos meses de ocorrência das chuvas (abril, maio, junho, julho, agosto e setembro) e no período da seca (outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março), respectivamente.

As plantas de camu-camu com 2 anos de idade com CVM apresentaram valores de ETc de 2,2 mm dia⁻¹ em média, variando de 1 mm dia⁻¹ a 4 mm dia⁻¹. Nas plantas sem CVM a ETc média foi de 2,5 mm dia⁻¹, com mínima e máxima de 1 mm dia⁻¹ e de 4,5 mm dia⁻¹, respectivamente (Figura 11A). Nas plantas com 3 anos de idade com CVM foram determinados valores mínimos, médios e máximos de ETc de 1,7; 2,7 e 4,6 mm dia⁻¹, respectivamente. Entretanto, quando não foi utilizado CVM as plantas apresentaram ETc de 3,5 mm dia⁻¹ em média, variando de 2,2 a 5,6 mm dia⁻¹, respectivamente (Figura 11B).

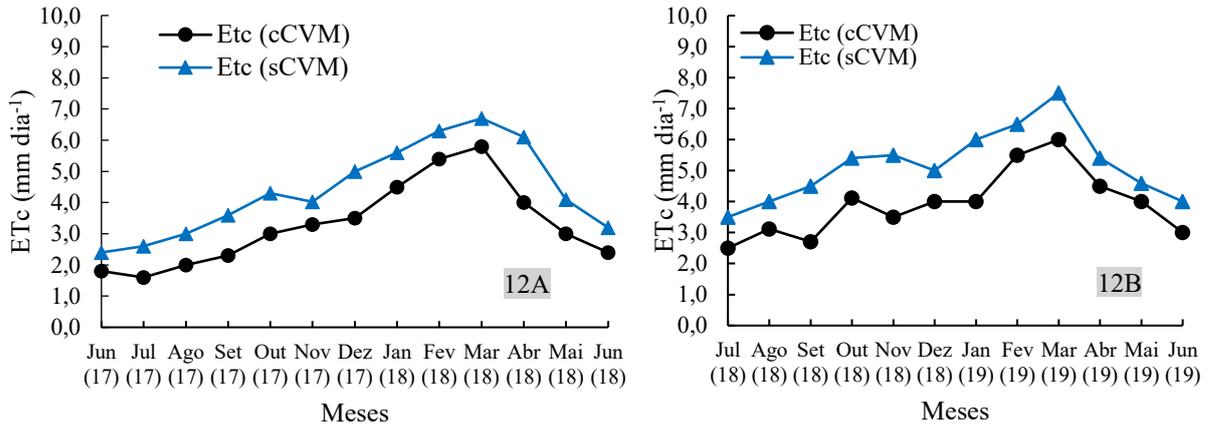
Figura 11. Representação gráfica da Evapotranspiração da cultura (ETc) de plantas de camu-camu com 2 (11A) e 3 (11B) anos de idade, com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta.



Para as plantas com 4 anos de idade com CVM, observou-se, valores mínimos, médios e máximos de ETc em torno de 1,6; 3,4 e 5,8 mm dia⁻¹, respectivamente. No entanto, valores superiores de 2,6; 4,5 e 6,7 mm dia⁻¹ foram determinados para plantas sem CVM (Figura 12A). A ETc média das plantas com 5 anos de idade com CVM foi de 4,5 mm dia⁻¹, variando de 2,8 a 6,8 mm dia⁻¹, respectivamente. Porém, quando não foi utilizado CVM, foram determinados

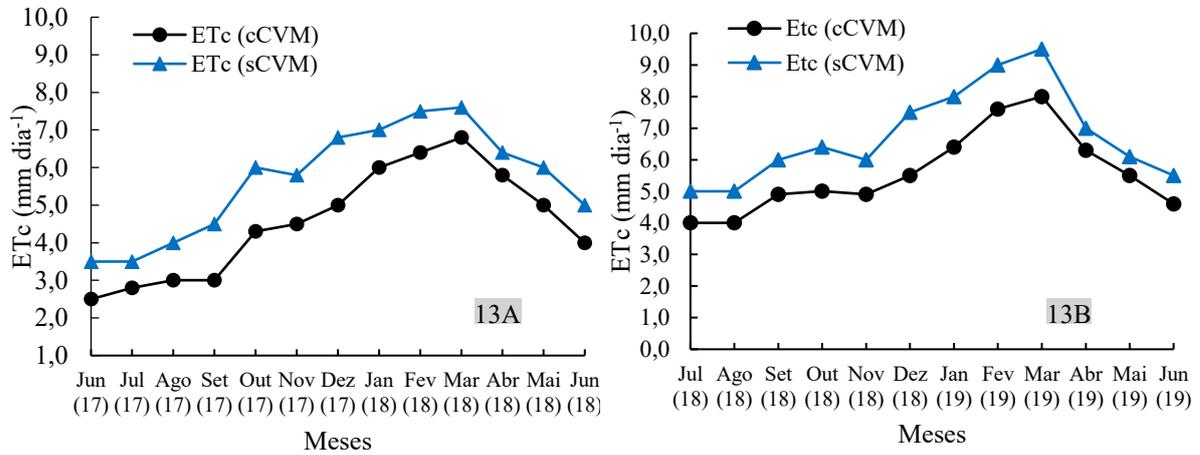
valores mínimos, médios e máximos da ETc em torno de 3,5; 5,8 e 7,6 mm dia⁻¹, respectivamente de (Figura 12B)

Figura 12. Representação gráfica da Evapotranspiração da cultura (ETc) de plantas de camu-camu com 4 (12A) e 5 (12B) anos de idade com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta.



Nas plantas com 6 anos de idade sob manejo com CVM foram determinados valores mínimos, médios e máximos de ETc de 2,8; 4,7 e 6,8 mm dia⁻¹, respectivamente. Entretanto, em ausência de CVM o valor mínimo, médio e máximo foi de 3,5; 5,8 e 7,6 mm dia⁻¹, respectivamente (Figura 13A). Para as plantas com 7 anos de idade com CVM, foi determinado, em média, 5,6 mm dia⁻¹; com valores mínimos e máximos de 4,3 e 8,0 mm dia⁻¹, respectivamente. Pelo contrário, quando não foi empregada CVM foram determinados valores superiores, alcançando 6,8 mm dia⁻¹ em média, variando de 5,2 a 9,5 mm dia⁻¹ (Figura 13B). Resultados semelhantes foram reportados por Mendes et al. (2012), para a cultura da acerola (*Malpighia glabra*) nas condições edafoclimáticas de Fortaleza, CE, (ETc média de 5,1 mm dia⁻¹, com extremos de 4,4 a 8,0 mm dia⁻¹).

Figura 13. Representação gráfica da Evapotranspiração da cultura (ETc) de plantas de camu-camu com 6 (13A) e 7 (13B) anos de idade, com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta.



De acordo com os resultados da ETc, o consumo de água pelas plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos sem CVM foi de 19,0; 21,9; 25,3; 24,2; 19,3; e 17,4% superior as plantas com CVM. Resultados semelhantes de 16,7 e 19,4% foram reportados por Murgu-Orrillo et al. (2016a, 2016b) trabalhando com cobertura vegetal morta na cultura do milho (*Zea mays*) e feijão caupi (*Vigna unguiculata*), respectivamente. Estes resultados concordam com Allen et al. (2007), pois afirmaram que a cobertura do solo altera a relação solo-água-plantas, diminuindo a taxa de evaporação entre 50 e 80% e de 5 a 30% da evapotranspiração.

Por outro lado, na Tabela 3, apresenta-se a ETc acumulada nas diferentes fases de desenvolvimento vegetativo e produtivo das plantas de camu-camu, com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta. Note-se, que após o transplante a Fase FI e FII possuem períodos longos de até 1461 dias equivalente a quatro anos. Entretanto, a fase FIII de produção de frutos iniciou ao quinto ano de idade, sendo mais representativa aos 6 anos e consolidou-se a os 7 anos de idade.

Tabela 3. Valores acumulados de ETc das plantas de camu-camu nas fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo.

Parâmetros	Fases fenológicas						Total
	FI	FII		FIII			
	Idade de planta (anos)						
	2	3	4	5	6	7	
Duração (dias)	365	365	366	365	365	365	2191
ETc-cCVM (mm dia ⁻¹)	2,1	2,7	3,4	3,9	4,7	5,6	
ETc-A (mm)	770,3	983,4	1236,6	1424,7	1718,1	2049,0	8224,2
ETc-sCVM (mm dia ⁻¹)	2,6	3,4	4,5	5,1	5,8	6,8	
ETc-sc-A (mm)	952,2	1.258,8	1.654,3	1.879,5	2.128,9	2.481,1	10.405,8

FI: fase de formação e desenvolvimento vegetativo de 10 a 40% de área de solo coberto pela copa da planta.
 FII: fase de desenvolvimento vegetativo e início da fase reprodutiva até 80% do solo coberto pela copa da planta.
 FIII: Fase reprodutiva, até 95% do solo coberto pela copa da planta.
 ETc-A: acumulada ano⁻¹

Coefficiente de cultura do camu-camu (Kc)

De forma geral, foi determinado que os valores de Kc aumentaram até a fase reprodutiva, e logo teve um comportamento constante (Figura 14), fato que é atribuído a aplicação de irrigação até a finalização da colheita dos frutos em fresco. De acordo com Allen et al. (2006), em culturas anuais (grãos) ocorre o contrário, pois a senescência e o secado da cultura são induzidas em campo antes da colheita, e, portanto, os valores do Kc são baixos.

Além disso, os valores de Kc nas fases FI, FII e FIII das plantas de camu-camu variaram em função do uso de CVM (Figura 14).

Na fase FI, os valores do Kc foram baixos, sendo em média de 0,4 e 0,5; variando de 0,3 a 0,6; e de 0,4 a 0,7 para as plantas com 2 anos de idade, com e sem CVM, respectivamente. Para as plantas com 3 anos de idade foi determinado valores de Kc com média de 0,5 e 0,7, variando de 0,4 a 0,7; e de 0,5 a 0,9, com e sem CVM, respectivamente (Figura 14). Esses valores de Kc correspondem à plena formação de folhas, emissão dos primeiros brotos laterais e crescimento longitudinal dos ramos primários e secundários. Os valores dos coeficientes de cultura (Kc) obtidos se enquadraram dentro do intervalo, recomendado por Doorenbos; Pruitt (1977), para cultivos permanentes na fase FI que inicia com a emissão das primeiras folhas e prolonga-se até 10% da cobertura do solo pela planta.

Portanto, constata-se que na fase FI, a maior taxa de evapotranspiração esteve constituída principalmente pela evaporação do solo e não pela planta, pelo fato que a área de solo coberta pela planta foi pequena, além disso, não houve restrições hídricas durante a esse

período de avaliação. Nesse sentido, Allen et al. (2006) referem que, à medida que o cultivo se desenvolve, a evaporação do solo é mais restringida, e a transpiração das plantas gradualmente se torna no processo mais importante, sempre e quando, o suprimento hídrico seja adequado.

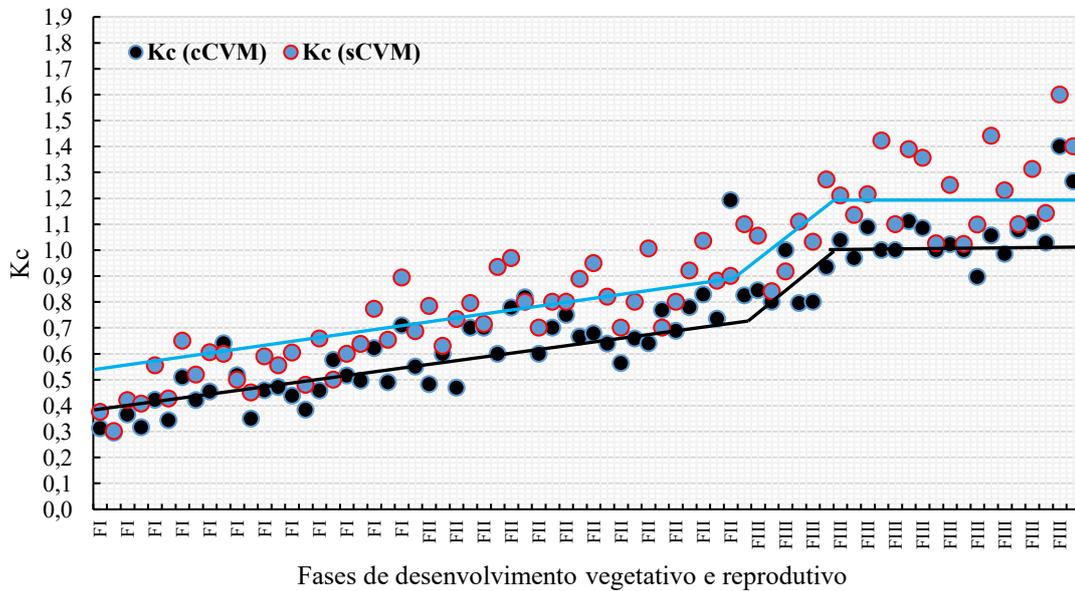
Resultados semelhantes de valores de K_c aos obtidos nesta fase de desenvolvimento foram determinados por Doorenbos; Pruitt (1977) em climas tropicais e mediterrâneos para as culturas de banana (*Musa spp*) ($K_c = 0,5$), manga (*Mangifera indica*) ($K_c = 0,4$), maracujá (*Passiflora edulis*) ($K_c = 0,4$) e citros ($K_c = 0,5$) no estágio I de desenvolvimento vegetativo. Do mesmo modo, Allen et al. (2006) mencionam que para a cultura da goiabeira (*Psidium guajava*) o K_c está em torno de 0,45 na fase inicial de crescimento vegetativo.

Na fase FII que corresponde ao pleno estabelecimento, definição da copa, aumento da área foliar e do sistema radicular, e início da etapa reprodutiva das plantas de camu-camu, foi determinado em média valores de K_c de 0,7 e 0,9; variando de 0,4 a 0,9 e de 0,6 a 1,1 para as plantas com 4 anos de idade, com e sem CVM, respectivamente. Para as plantas com 5 anos, de idade, com e sem CVM, foi determinado em média valores de K_c de 0,8 e 1,0 variando de 0,6 a 1,2 e de 0,8 a 1,3, respectivamente (Figura 14). Resultados semelhantes foram reportados por Doorenbos; Pruitt (1977) em climas tropicais e mediterrâneos para as culturas da banana (*Musa spp*) ($K_c = 0,7 - 0,85$), manga (*Mangifera indica*) ($K_c = 0,5-0,75$), maracujá (*Passiflora edulis*) ($K_c = 0,75-0,8$) e citros ($K_c = 0,75 - 0,8$) no estágio II de desenvolvimento vegetativo considerado até 80% da cobertura do solo pela planta.

Na fase FIII, período onde foram observados os estádios fenológicos de emergência das inflorescências, floração e frutificação; foi constatado que os valores de K_c atingiram seu máximo valor, indicando que as plantas demandaram mais água para nutrir a planta e acumular reservas para o desenvolvimento e manutenção da qualidade (tamanho, cor da casca, porcentagem de polpa teor de vitamina C, turgidez y succulência) dos frutos até a colheita.

Assim, as plantas de camu-camu com 6 anos de idade, com e sem CVM, apresentaram em média, valores de K_c de 0,9 e 1,2, variando de 0,6 e 1,1 e de 0,8 a 1,4, respectivamente, e para as plantas com 7 anos de idade foi registrado em média valores de K_c de 1,1 e 1,3; variando de 0,8 a 1,4 e de 1,0 a 1,6, com e sem CVM, respectivamente (Figura 14).

Figura 14. Coeficiente de cultura (Kc) em plantas de camu-camu com (cCVM) e sem (sCVM) cobertura vegetal morta nas fases FI e FII de desenvolvimento vegetativo e FIII de desenvolvimento reprodutivo.



Os valores de Kc determinados na fase FIII, são semelhantes aos reportados por Konrad et al. (2002) ($Kc=1$), e Calgaro; Braga (2012) (Kc entre 0,70 e 1,45, com média de 0,98) para a cultura da acerola (*Malpighia glabra*) em produção. Do mesmo modo, Allen et al. (1998) reportaram para a cultura da banana (*Musa spp*), cacau (*Theobroma cacao*) e café (*Coffea arabica*) valores de Kc de 1,1; 1,05 e 0,95, respectivamente.

7.5 CONCLUSÕES

Na fase FI de formação e de desenvolvimento vegetativo, foram determinados valores médios de Kc de 0,4 e 0,5 e de 0,5 a 0,7 para as plantas com 2 e 3 anos de idade, com e sem cobertura vegetal morta, respectivamente;

Na fase FII de estabelecimento e início da etapa reprodutiva os valores médios de Kc foram de 0,7 e 0,9 e de 0,8 a 1,0, com e sem cobertura vegetal morta, para as plantas com 4 e 5 anos de idade, respectivamente;

Na fase FIII de frutificação, os valores médios de Kc para as plantas com 6 e 7 anos de idade foram de 0,9 e 1,2 e de 1,1 a 1,3, com e sem cobertura vegetal morta, respectivamente;

O consumo de água pelas plantas de camu-camu com 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos de idade sem cobertura vegetal morta foi 19,0; 21,9; 25,3; 24,2; 19,3; e 17,4% superior as plantas com cobertura vegetal morta.

7.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. et al. **Water requirements**. In: HOFFMAN, G. J. et al. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: ASABE, 2007. Chap. 8, p. 208-288.
- ALLEN, R. G. PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE, 56. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma, 2006. 201 p.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO - Irrigation and drainage, 1998. 301 p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES G. J.L.; SPAROVEK, G. KOPPEN climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ARAÚJO F. W.; COSTA, A.A.S.; SANTOS, E.A. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 84-88. 2001.
- ARAÚJO, F. W; COSTA, A. A. S.; ARAÚJO, A. E. S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Boa Vista-RR. **Revista Caatinga**. v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.
- AVILA, I.C.S.S. **Caracterização preliminar do subsolo da área urbana de Boa Vista-RR, a partir de sondagens de simples reconhecimento**. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Roraima-UFRR, Boa Vista. 88 p.
- BARRETO, C.V.G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; SILVA, E.A.; PIRES, R.C.M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro irrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 641-647, 2006.
- BRASIL, F. DA C.; ZONTA, E.; OLIVEIRA, M. DO R. G. Métodos de amostragem e quantificação para estudos do sistema radicular em condições de campo—Uma revisão crítica. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, v. 27, n. 2, p. 14–33, 2007.
- BASSOI, L. H.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G.; FERREIRA, M. N. L.; MAIA, J. L. T; TARGINO, E. L. **Informações Sobre a Distribuição das Raízes da Goiabeira para o Manejo de Irrigação**. Boletim técnico. Embrapa, 4 p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV Impr. Univ., 1986. 596p.
- BORGES, T.K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; DOS SANTOS, T.E.M.; SILVA, D. D.; DE PAULA, V.; SILVA JUNIOR. influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1862-1873, 2014.
- CALGARO, M.; BRAGA, M. B. (Ed.). **A cultura da acerola**. 3 ed. rev. e aum. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 148 p.
- CHAGAS, R. M.; FACCIOLI, G.G.; AGUIAR NETTO, A. de O.; SOUSA, I.F. de; VASCO, A. N. do; SILVA, M. G. da. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration (ET_o) for the city of Rio real-BA. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 351-363, 2013.
- CLEMENT, C. R.; FREITAS, F. O.; ROMÃO, R. L. In: VEIGA, R. F. A. & QUEIRÓZ, M. A (Eds.), 2015. **Recursos fitogenéticos: a base da agricultura sustentável no Brasil**. Editora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. pp. 30-38.
- COELHO FILHO, M. A.; ANGELOCCI, L.R.; ROJAS, J.S.D.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M.V. Relações entre transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar jovem de lima ácida ‘Tahiti’. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 2, p. 265-274, 2004.
- CONCEIÇÃO, F. M. A. **Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman- Monteith/FAO**. Circular Técnica. Bento Gonçalves, RS, Embrapa Uva e Vinho. 2006, 9 p.

- CUNHA, F. F.; RAMOS, M. M.; ALENCAR, C. A. B.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A.C.; OLIVEIRA, R.A. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 351-357, 2010.
- DAMAZIO, L.S.; SILVEIRA, F.R.; CANEVER, L.; DE CASTRO, A.A.; ESTRELA, J.M.; BUDNI, J.; ZUGNO, A.I. The preventive effects of ascorbic acid supplementation on locomotor and acetylcholinesterase activity in an animal model of schizophrenia induced by ketamine. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 2, p. 1133-1141, 2017.
- DAVOGLIO JUNIOR, A.C.; BORDIN, I.; NEVES, C.S.V.J. Sistema radicular e desenvolvimento de plantas cítricas provenientes de viveiro telado e aberto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 2, p. 172-175, 2006.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements, 2nd ed. Rome: FAO Irrigation and Drainage paper, 24, 1977. 179 p.
- FIDELIS, M.; OLIVEIRA, S. M.; SANTOS, J. S.; ESCHER, G. B.; ROCHA, R. S.; CRUZ, A. G.; CARMO, M. A. V.; AZEVEDO, L.; KANESHIMA, T.; OH, W. Y.; SHAHIDI, F.; GRANATO, D. From byproduct to a functional ingredient: Camu-camu (*Myrciaria dubia*) seed extract as an antioxidant agent in a yogurt model. **Journal of Dairy Science**. v. 103, n. 2, p. 1131-1140, 2020.
- FRANÇA JUNIOR, A.C. **Análise de métodos simplificados de estimativa da ETo e da sensibilidade das variáveis do cálculo da lâmina de irrigação para a cultura do café**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2003, 87 p.
- HU, W.; SHAO, M.A.; HAN, F.P.; REICHARDT, K.; TAN, J. Water scale temporal stability of soil water content. **Geodema** 158, 181-191, 2010.
- INMET. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática (INMET)** do instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, 2019.
- JORGE, L.A.C.; SILVA, D.J.C.B. SAFIRA: **Manual de utilização**. São Carlos: Embrapa CPDIA, 2010, 29 p.
- KITIĆ, G.; CRNOJEVIĆ-BENGIN, V.A. Sensor for the Measurement of the Moisture of Undisturbed Soil Samples. **Sensors**, v. 13, n. 2, p. 1692-1705, 2013.
- KONRAD, M.; HERNANDEZ, F.B.T.; BRAGA, R. S.; BORTTOLOTO, M.S. **Produção de acerola sob diferentes sistemas de irrigação na região da nova alta paulista, SP**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, Salvador. Anais...CONBEA, 2002. (CD-ROM).
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ/USP. 1995. 497 p.
- MELO, V.F; CHAGAS, E.A; da SILVA SIQUEIRA, R.E.; MESQUITA DE SOUZA, O.; de ALMEIDA, L. F. P.; ROSSONI, D.; CHAGAS, P. C; ABANTO-RODRÍGUEZ, C. Camu-camu Root Distribution under Different Nitrogen and Potassium Doses through Drip Fertigation, **HortScience**, v.54, n.4, p. 743-748, 2019.
- MENDES et al. **A cultura da acerola**, 3ª edição, revista e ampliada. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Semiárido, 2012. 150 p.
- MENDOÇA, 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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.
- MURGA-ORRILLO, H.; ARAUJO, W. F.; RODRIGUEZ, C. A.; LOZANO, R. M. B.; SAKAZAKI, R. T.; VARGAS, A. R. P. Influência da cobertura morta na evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em cerrado. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 352-364, 2016(a).

- MURGA-ORRILLO, H.; ARAÚJO, W. F.; ROCHA, P. R. R.; SAKAZAKI, R. T.; DIONISIO, L.F.S.; POLO-VARGAS, A.R. Evaporação e coeficiente de cultivo do feijão caupi cultivado em solo do cerrado submetido à cobertura morta. *Irriga*, v. 21, n. 1, p. 172-187, 2016 (b).
- NEVES, C. S. V. J.; BORGES, A. V.; KANAI, H. T.; PRETE, E. C. E.; PIPOLO, V. C. **Distribuição do sistema radicular de aceroleira: cultivares Dominga, Ligia e Natalia**. In XVI Congresso Brasileiro de Fruticultura, CD rom. fortaleza, 2000.
- PALTINEANU, I.C. AND STARR, J. L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: Laboratory calibration. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 1576-1585, 1997.
- PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PINEDO, P.M.; RIVA, R.R.; RENGIFO, S.E.; DELGADO, V.C.; VILLACRES, V. J.; GONZÁLES, C.A.; INGA, S.H.; LÓPEZ, U.A.; FARROÑAY, P.R. VEGA, V.R. LINARES, B.S. **Sistema de producción de camu-camu en restinga**. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Iquitos. Perú, 2001, 141 pp.
- PIZETTA S. C. **Calibração de sensores de capacitância (FDR) para estimativa da umidade em diferentes solos** (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Lavras-UFV. 2015. 67 p.
- POSSE, R.P.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; PEREIRA, M.G.; GOTTARDO, R.R. Total leaf area of papaya trees estimated by a nondestructive method. *Scientia Agricola*, v. 66, p. 462-466, 2009.
- PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: Editora Planta, 2005, 327 p.
- RIBEIRO, J.R.; DIGGLE, P.J. GeoR: A package for geostatistical analysis. *R NEWS*, 1(2). 2006, 24. p
- ROBINSON, J.C.; SAÚCO, V. G. **Banana and Plantains** (2nd Edition), CAB International, Wallingford, UK. 2010, 311 p.
- ROCHE, L.; DOUROJEANNI. **Manual sobre la conservación in situ de los recursos genéticos de especies leñosas tropicales**. Roma, FAO, División de Recursos Forestales, 1984, 96 p.
- SANTANA, J. A. V.; COELHO, E. F.; FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; DONATO, S. L. R. Distribuição de raízes de bananeira ‘prata-anã’ no segundo ciclo de produção sob três sistemas de irrigação. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 34, n. 1, p. 124-133, 2012.
- SANTOS J. N.; PEREIRA E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. *Cadernos de Pesquisa*, (especial): p. 63-71, 2013.
- SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G.C. DE; SERAFIM, M. E.; SILVA JUNIOR, J.J.; COLOMBO, A.; LIMA, J.M. Acuracia e calibração de sonda de capacitância em Latossolo vermelho cultivado com cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 1, p. 227-286, 2012.
- SMIT, A. L.; GEORGE, E.; GROENWOLD, J. **Root observations and measurements at (transparent) interfaces with soil**. In: SMIT, A. L.; BENGOUGH, A. G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S. C. (Eds.). *Root methods: A handbook*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2000. p. 235-271.
- SUSHA LEKSHMI, S. U.; SINGH, D. N.; BAGHINI, M.S. A critical review of soil moisture measurement, *Measurement*, v. 54, p. 92–105, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6a Edição, Artmed, 2017, 888 p.
- VENÂNCIO, J. B. **Produção de Mudas e cultivo de Abacaxizeiro em condições de campo sob adubação potássica e lâminas de Irrigação**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Roraima. Boa Vista - RR. 2013, 113 p.

VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M. **Meteorologia e climatologia agrícolas**. Fortaleza: UFC. (Material didático), 2003. 196 p.

VIEGAS, I.J.M.; FRAÇÃO, D.A.C.; SILVA, J.F. **Camu-camuzeiro, nutrição, calagem e adubação**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004, 6p

YUYAMA, K.; VALENTE, J. P. **Camu-Camu *Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh.** 1.ed. Curitiba-Brasil: CVR, INPA, 2011, 216 p.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os lisímetros de drenagem podem ser utilizados até o final da fase vegetativa, porém, para a fase reprodutiva das plantas do camu-camu, deve-se utilizar outro método ou lisímetros de maior tamanho para obter valores de K_c com maior precisão;

Os sensores de umidade do solo 10HS[®] devem ser calibrados para o uso nas condições locais, pois, foi constatado que os dados não se aproximaram a reta 1:1, e, portanto, a umidade estava sendo sobrestimada;

A medição indireta da umidade do solo com os sensores 10HS[®] permitiu ter maior controle sob a irrigação, pois aplicou-se uma lâmina adequada para manter a capacidade de campo, e com isso foram obtidas melhores estimativas de K_c em comparação ao lisímetro de drenagem na fase reprodutiva;

O uso de cobertura vegetal morta composta de capim *Trachypogon plumosus* permitiu economizar água, pelo fato que reduziu a evapotranspiração da cultura, tanto, na fase vegetativa e reprodutiva, além disso, propiciou menor profundidade efetiva de raízes em todas as idades das plantas de camu-camu e aumentou a densidade e porosidade do solo na superfície.