



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Marcelo José da Silva

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA DA
MANGUEIRA 'KENT' CULTIVADA NO SUBMÉDIO DO VALE
SÃO FRANCISCO**

JUAZEIRO – BA

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Marcelo José da Silva

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA DA
MANGUEIRA 'KENT' CULTIVADA NO SUBMÉDIO DO VALE
SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF, como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola.

Prof. Orientador: Magna Soelma Beserra de Moura

Prof. Co-orientador: Thieres George Freire da Silva

JUAZEIRO – BA

2019

Silva, Marcelo José da
S586e Evapotranspiração e coeficiente da cultura da mangueira 'Kent' cultivada no
Submédio do Vale do São Francisco / Marcelo José da Silva. – Juazeiro - BA, 2019.
xvi. 60 f. : il ; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale
do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2019.

Orientadora: Prof^a. D.Sc^a Magna Soelma Beserra de Moura

1. Manga – Cultivo. 2. Manejo de irrigação. I. Título. II. Moura, Magna Soelma
Beserra de. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 634.44

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Márcio Pataro CRB – 5 / 1369.

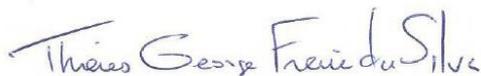
UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

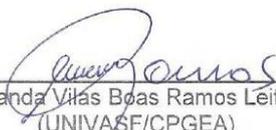
Marcelo José da Silva

**“Evapotranspiração e coeficiente da cultura da mangueira
'Kent' cultivada no Submédio do Vale do São Francisco”**

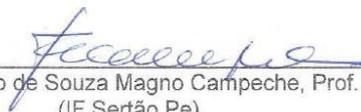
Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



Thieres George Freire da Silva, Prof. Dr.
(UFRPE/UAST)



Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão, Prof. Dr.
(UNIVASF/CPGEA)



Luís Fernando de Souza Magno Campeche, Prof. Dr.
(IF Sertão Pe)

Juazeiro-BA, 12 de Julho de 2019.

À meu bom Deus, aos meus pais,
Maria Madalena e José Marcelino,
familiares e amigos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Senhor Deus e à Virgem Maria, pelo amanhecer, proteção, coragem e companhia durante toda minha vida.

Aos meus pais, José Marcelino da Silva e Maria Madalena Pereira da Silva; às minhas irmãs, Marcela Pereira da Silva, Marcia Regina Pereira da Silva, Marly Pereira da Silva e Maria Natália Pereira da Silva; e aos meus cunhados, Leonardo Francelino de Souza e Odair José do Nascimento, pelo apoio, palavras, risadas, por fazerem tudo isso acontecer e por serem meu estímulo e referência de vida; a vocês serei eternamente grato.

À minha orientadora Dra. Magna Soelma Beserra de Moura, pela paciência, apoio e incentivo, me trazendo a autoconfiança nos períodos mais difíceis da reta final. Sei que por obrigações, não tivemos muito tempo de conversa, mas mesmo assim a senhora mostrou-se preocupada com meu futuro, me dando suporte quando necessário.

À meu co-orientador Dr. Thieres George Freire da Silva, pelos ensinamentos e companheirismo, por se fazer presente em todos os momentos desde a graduação. O senhor sabe da minha admiração pelo seu foco e determinação para alcançar seus objetivos.

Aos professores Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão pelos ensinamentos passados, pela dedicação e entrega, visando sempre o aprendizado de seus alunos e ao Dr. Luis Fernando de Souza Magno Campeche por fazer parte desta caminhada contribuindo para a melhoria deste trabalho.

À minha namorada, Marisa Adriana Gonçalves de Souza, pelo amor, apoio e confiança ao longo dessa jornada; por me incentivar e acreditar em meu potencial, sempre lembrando o quanto Deus é grande em nossa vida.

À dona Graça e ao senhor George, pela acolhida, paciência e preocupação, além do amor e confiança que recebi. Sentirei muitas saudades.

À minha avó, Estelita Benvinda; à minha madrinha, Aurizete; aos meus amigos, Inácio Teixeira e José Wanderley, pelo apoio e incentivo desde a graduação. Essa caminhada também devo a vocês.

Aos amigos que o mestrado me concedeu, Amélia Carvalho, Ana Carla, Camila Santana, Janiely Pereira, Luan Wamberg, Thiago Cirilo, Fabrício Landin,

Gilmara Granja, Patrícia, Maria Rafaela e Lara, pelo companheirismo, brincadeiras e descontrações. Vocês realmente fizeram com que as noites de estudos se tornassem menos cansativas.

À Fabiana Torres, Jadna Mylena, Marcelino Raweny, George Junior, Laamon Simões, por cada conselho e desabafo, por estarem comigo desde a graduação e se tornarem pessoas especiais em minha vida. Vocês são bençãos de Deus.

À Carolina Torres, pelas conversas, conselhos e apoio. Sem dúvidas, uma pessoa especial para todos que fazem parte dessa pós-graduação.

Aos integrantes do Labmet, Emerson Damaceno e Emanuel Gregório, pelo apoio, ensinamentos e amizade durante todo o mestrado.

À Embrapa Semiárido, pelo apoio e incentivo aos trabalhos de pesquisa, em especial a família Agromet, Karla Layane, Cloves Vilas Boas, Edson Junior, Geovani Damaceno, Joana Mayra, Leide Dayane, pela amizade, força e apoio no desenvolver dos trabalhos. O cansaço se tornava um pequeno detalhe a cada sorriso. Com certeza, sentirei saudades de cada um e levarei comigo boas recordações.

À Herica Fernanda e Euvaldo Junior, pelo sentimento de irmandade que tomou conta a cada conselho, abraço e aperto de mão. Acordar cedo ou chegar tarde em casa, sempre será motivo de diversão, enquanto o companheirismo for maior que a dificuldade. Obrigado por tudo.

À Joabe Almeida e Vanessa Santos, que em muitos momentos fizeram os papéis de pai, mãe, amigos, irmãos, etc. Sempre foram afetivos, prestativos e conselheiros. Que Deus abençoe vocês.

À fazenda Andorinhas, por ceder a área de estudo para este trabalho.

Aos professores que fazem parte do PPGEA, pelos ensinamentos passados.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) pela oportunidade de cursar o mestrado, se tornando minha segunda casa durante esses dois anos.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

E à todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho, meu muito obrigado.

Tudo tem o seu tempo determinado e há tempo para todo o propósito debaixo do céu:

Há tempo de nascer, e tempo de morrer, tempo de plantar, e tempo de arrancar o que se plantou.

Eclesiastes 3: 1-2

Silva, Marcelo José da. **Evapotranspiração e coeficiente da cultura da mangueira ‘Kent’ cultivada no Submédio do Vale do São Francisco**. 2019. 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, BA.

RESUMO

Objetivou-se determinar a evapotranspiração e o coeficiente da cultura da mangueira ‘Kent’ irrigada cultivada na região do Submédio do Vale do São Francisco. O estudo foi realizado em um pomar comercial pertencente à fazenda Andorinhas, em Petrolina, PE, durante os anos de 2017 e 2018. Analisou-se, variáveis de crescimento da cultura, índice de área foliar (IAF), balanço de radiação, balanço de energia, evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficiente da cultura (Kc). As variáveis de crescimento da cultura, altura da planta, comprimento, largura e área de projeção da copa apresentaram pouca variação durante o ciclo, com médias de $3,41 \pm 0,06$ m; $2,75 \pm 0,10$ m; $4,17 \pm 0,10$ m; e $13,85 \pm 3,53$ m², respectivamente. O IAF reduziu ao longo das fases de desenvolvimento vegetativo ($6,14 \pm 1,21$ m² m⁻²) e formação + maturação dos frutos ($5,23 \pm 0,38$ m² m⁻²). A radiação solar global incidente apresentou maior oscilação (20,42 a 24,34 MJ m⁻²) durante o período chuvoso, influenciando nos valores do saldo de radiação (Rn) e dos fluxos (LE e H). A ETo e a ETc apresentaram médias de 4,98 e 4,27 mm dia⁻¹ (crescimento vegetativo); 3,94 e 3,33 mm dia⁻¹ (floração); 4,52 e 3,63 mm dia⁻¹ (queda de frutos) e 6,12 e 4,45 mm dia⁻¹ (formação e maturação dos frutos). Visando a adoção de técnicas que melhorem o manejo de água no cultivo da mangueira, o presente estudo indica que a evapotranspiração média da mangueira ‘Kent’ para as condições climáticas da região do Vale do São Francisco é de 4,08 mm dia⁻¹, com Kc médio de 0,82, para todo o ciclo, sendo 0,88, 0,84, 0,81 e 0,71, respectivamente para as fases de crescimento vegetativo, floração, queda de frutos e formação dos frutos + maturação dos frutos. Estes coeficientes técnicos podem ser usados para incrementar o manejo de água em pomares de mangueira ‘Kent’ no Submédio do Vale São Francisco.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L.; manejo de irrigação; razão de Bowen

Silva, Marcelo José da. **Evapotranspiration and crop coefficient of the 'Kent' mango tree grown in the São Francisco Valley Submedia**. 2019. 60f. Dissertation (Master in Agricultural Engineering). Federal University of the San Francisco Valley – UNIVASF, Juazeiro, BA.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the evapotranspiration and the crop coefficient of irrigated mango variety 'Kent' in the Lower Middle São Francisco Valley. The study was carried out in a commercial orchard at Andorinhas farm, in Petrolina, PE, during 2017 and 2018 years. It was analyzed crop growth parameters, leaf area index (LAI), radiation and energy balance, crop evapotranspiration (ET_c) and crop coefficient (K_c). Crop growth; plant height; crown length and width; and crown projection area presented little variation during the cycle, with mean of 3.41 ± 0.06 m; 2.75 ± 0.10 m; 4.17 ± 0.10 m; and 13.85 ± 3.53 m², respectively. The LAI reduced from the vegetative (6.14 ± 1.21 m² m⁻²) to fruit formation + fruit maturation (5.23 ± 0.38 m² m⁻²) phenological phases. The incoming solar radiation showed greater oscillation (20.42 to 24.34 MJ m⁻²) during the rainy season, influencing the values of net radiation (R_n), latent and sensible heat fluxes (LE and H). E_{T0} and E_{Tc} presented averages of 4.98 and 4.27 mm day⁻¹ (vegetative growth); 3.94 and 3.33 mm day⁻¹ (flowering); 4.52 and 3.63 mm day⁻¹ (fruit drop) and 6.12 and 4.45 mm day⁻¹ (fruit formation and fruit maturation). The present study indicates that the mean evapotranspiration of the irrigated mango variety 'Kent' was 4.08 mm day⁻¹ for the climatic conditions of the Lower Middle São Francisco River Valley, with K_c of 0.82 for the whole productive cycle, being K_c values of 0.88, 0.84, 0.81 and 0.71, respectively, for the phenological phases of vegetative growth, flowering, fruit fall and fruit formation + fruit maturation. This technical coefficients can be addressed to improve the water management of irrigated mango 'Kent' orchards in the Lower Middle São Francisco River Valley.

Key words: *Mangifera indica* L; irrigation management; Bowen ratio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Balanço de radiação e de energia de uma superfície.....	24
Figura 2. Localização da área experimental (Fazenda Andorinhas), em Petrolina, PE.....	31
Figura 3. Representação das fases fenológicas da mangueira ‘Kent’ cultivada no Submédio do Vale do São Francisco: a) Crescimento vegetativo; b) Floração; c) Queda dos frutos e d) Formação dos frutos + Maturação dos frutos.....	33
Figura 4. Medidas biométricas sendo realizadas na mangueira ‘Kent’ no Submedio do Vale São Francisco: a) altura da planta; b) comprimento da copa; c) largura Norte-Sul e d) largura Leste-Oeste.....	34
Figura 5. Torre micrometeorológica equipada com sensores e sistema de aquisição de dados para monitoramento dos elementos microclimáticos de um pomar de mangueira ‘Kent’, cultivado no Submédio do Vale do São Francisco.....	36
Figura 6. Valores médios diários das variáveis ambientais observadas em um pomar de mangueira ‘Kent’ cultivada no Submédio do Vale do São Francisco. CV – Crescimento vegetativo; FL – Florescimento; QF – Queda de frutos e FF+MF – Formação + Maturação dos Frutos.....	41
Figura 7. Variação sazonal dos componentes do balanço de radiação durante as fases fenológicas da mangueira ‘Kent’ irrigada, cultivada no Vale do São Francisco. CV = Crescimento vegetativo; FL = Florescimento; QF = Queda de frutos; FF + FM = Formação do fruto + Maturação do fruto; Rg = Radiação de ondas curtas emitida pela atmosfera; Ra = Radiação de curtas refletida pela superfície; Rr = Radiação de ondas longas emitida pela atmosfera e Rr Radiação de ondas longas refletida pela superfície..	44

Figura 8. Balanço de energia em pomar de mangueira 'Kent' irrigada Submédio do Vale São Francisco durante os ciclos produtivos 2016/2017 e 2017/2018. CV = Crescimento vegetativo; FL = Florescimento; QF = Queda de frutos; FR = Frutificação; Rn = Saldo de radiação LE = Fluxo de calor latente; H = Fluxo de calor sensível e G = Fluxo de calor no solo.....47

Figura 9. Evapotranspiração de referência (ET_o) e da mangueira 'Kent' (ET_c) irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. CV = Crescimento vegetativo; FL = Florescimento; QF = Queda de frutos; FF + MF = Formação do fruto + Maturação do fruto.....49

Figura 10. Coeficiente da cultura (K_c) da mangueira 'Kent' irrigada no Submédio do Vale São Francisco. CV = Crescimento vegetativo; FL = Florescimento; QF = Queda de frutos; FF+FM = Formação dos frutos + Maturação dos frutos.....50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Períodos fenológicos da mangueira cv. Kent cultivada no Submédio São Francisco.....	33
Tabela 2. Sensores utilizados no monitoramento micrometeorológico em pomar de mangueira.....	35
Tabela 3. Parâmetros biométricos e índice de área foliar (IAF) para fases fenológicas do pomar de mangueira cv. Kent cultivada no Vale São Francisco.....	43
Tabela 4. Componentes dos balanços de radiação (BR) e albedo (α) em um pomar irrigado de mangueira cv. Kent no Submédio do Vale São Francisco.....	45
Tabela 5. Componentes dos balanços de energia (BR) e razão de Bowen (β) em um pomar irrigado de mangueira cv. Kent no Submédio do Vale São Francisco.....	47
Tabela 6. Evapotranspiração de referencia (ET _o), evapotranspiração da cultura (ET _c) e coeficiente de cultivo (K _c) para a mangueira 'Kent' irrigada no Submédio do Vale São Francisco.....	51

LISTA DE SÍMBOLOS

ANA	Agência Nacional das Águas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
BR	Balanço de radiação
BE	Balanço de energia
BERB	Balanço de energia com base na razão de Bowen
R _n	Saldo de radiação
LE	Fluxo de calor latente
H	Fluxo de calor sensível
G	Fluxo de calor do solo
K _c	Coeficiente da cultura
ET _c	Evapotranspiração da cultura
ET _o	Evapotranspiração de referência
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
BOC	Balanço de ondas curtas
BOL	Balanço de ondas longas
R _g	Radiação de ondas curtas incidente à superfície
R _a	Radiação de ondas longas emitida pela atmosfera
R _r	Radiação de ondas curtas refletida pela superfície
R _s	Radiação de ondas longas emitida pela superfície
A	Aquecimento do dossel
F	Fotossíntese
β	Razão de Bowen
γ	Constante psicométrica
Δt	Gradiente de temperatura
Δe _a	Gradiente de pressão parcial de vapor d'água
kh	Coeficiente de transferência turbulenta de calor
kw	Coeficiente de transferência turbulenta de vapor
UR	Umidade relativa do ar
T	Temperatura do ar
K	Kelvin
ET	Evapotranspiração
E	Evaporação

T	Transpiração
PBZ	Paclobutrazol
AP	Altura da planta
CC	Comprimento da copa
LC	Largura da copa
IAF	Índice de área foliar
Ts	Temperatura do bulbo seco
Tu	Temperatura do bulbo úmido
P	Precipitação
α	Albedo
ET _{C30min}	Evapotranspiração em 30 minutos
t	Intervalo dos valores médios armazenados
t _{tempo}	Fator de ajuste da escala de tempo
L	Calor latente de vaporização
DPV	Déficit de pressão de vapor
LI	Lâmina de irrigação
US	Umidade do solo
CV	Crescimento vegetativo
FL	Floração
QF	Queda de frutos
FF + MF	Formação dos frutos + Maturação dos frutos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 A CULTURA DA MANGUEIRA.....	19
2.2 BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA	22
2.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA.....	27
3. OBJETIVOS.....	30
3.1 OBJETIVO GERAL.....	30
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	30
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1 ÁREA E CULTURA DE ESTUDO.....	31
4.2 FENOLOGIA E PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DA CULTURA.....	32
4.3 MONITORAMENTO MICROMETEOROLÓGICO.....	35
4.4 BALANÇO DE RADIAÇÃO	36
4.5 BALANÇO DE ENERGIA	37
4.6 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1 CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	40
5.2 ANÁLISE DE CRESCIMENTO DA CULTURA.....	42
5.3 BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA.....	43
5.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA.....	48
6. CONCLUSÃO.....	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
8. MATERIAL SUPLEMENTAR.....	58

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é utilizada desde a antiguidade e atualmente tem se tornado essencial nas áreas de produção agrícola para reduzir os riscos de falta de água e perda de produção, e aumentar os níveis de produtividade. Nos últimos anos, a área irrigada no Brasil aumentou consideravelmente, representando 6,95 milhões de hectares em 2015, com previsão de expansão de mais 45% até 2030 (ANA, 2017).

Em regiões semiáridas, onde a escassez hídrica e a má distribuição espaço-temporal das chuvas afetam o desenvolvimento das culturas, recorrer a um manejo de irrigação eficiente é essencial (COELHO et al., 2008; COTRIM et al., 2017). No Vale do São Francisco, a fruticultura irrigada encontrou condições climáticas favoráveis, que associadas à disponibilidade de água e à adoção tecnologias de manejo fitotécnico, tem permitido elevados níveis de produção e qualidade das frutas, alcançando os mais exigentes mercados do Brasil e do mundo (MOUCO, 2015). Dentre as frutíferas exploradas no Brasil, a mangueira (*Mangifera indica* L.) tem apresentado ótimos resultados. Em 2017, a produção brasileira de manga foi estimada em 1.087.091 toneladas, com destaque para a região Nordeste, responsável por 74% da produção nacional (812.275 toneladas) (IBGE, 2018). Dentre as variedades mais cultivadas destacam-se 'Tommy Atkins', 'Kent', 'Palmer' e 'Keitt' (FIGUEIREDO NETO et al., 2017).

A expansão da fruticultura irrigada e a crise hídrica regional têm despertado a necessidade do uso de tecnologias mais eficientes para o manejo do sistema água-solo-planta (SILVA et al., 2009; SIMÕES et al., 2018), visto que o setor agrícola é responsável pelo consumo de 70% da água doce (CALZADILLA et al., 2010). Porém, para que essa eficiência seja atingida, é necessário obter informações sobre a cultura, o clima e o solo da região. Dentre os elementos climáticos, a radiação solar é uma das variáveis mais importantes no desenvolvimento das plantas (ANGELOCCI et al, 2008), sendo a principal fonte de energia para os processos fotossintéticos e está fortemente relacionada com o uso da água e a produção de biomassa pelas plantas (FERREIRA JUNIOR et al., 2014; SIMON et al., 2010).

A demanda hídrica ou a evapotranspiração de um cultivo pode ser estimada por métodos que se baseiam no balanço de radiação e de energia à superfície, como é o caso da correlação dos vórtices turbulentos; e do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB) (CAMPECHE et al. 2011; SILVA et al., 2015b).

Esses métodos fundamentam-se na partição do saldo de radiação (R_n) entre os fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e calor do solo (G). Outro parâmetro que expressa o consumo hídrico da cultura ao longo do seu ciclo é o coeficiente da cultura (K_c). Este, representa a razão entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o), e é adotado como fator de ajuste entre a demanda atmosférica e a da cultura, podendo variar conforme o manejo adotado (PEREIRA et al., 2013).

Trabalhos realizados para determinar a evapotranspiração e o coeficiente de cultura da mangueira 'Tommy Atkins' irrigada na região do Vale São Francisco, utilizando o método da razão de Bowen, indicam que LE representa entre 77% e 84% de R_n (TEIXEIRA et al., 2008a; TEIXEIRA et al., 2008b). Por sua vez, Silva et al. (2007), analisando dois ciclos dessa mesma variedade no município de Petrolina, verificaram que a energia utilizada por LE representou, em média, de 75 a 78% de R_n , proporcionando uma ET_c acumulada de 784,6 mm e de 719,3 mm, entre a floração e a colheita. Valores médios de K_c para a mesma variedade foram encontrados por Azevedo et al. (2003) e Teixeira et al. (2008b) correspondendo a 0,71 e 0,91. Entretanto, as diferenças das características botânicas e fisiológicas entre a 'Tommy Atkins' e a 'Kent', demandam estudos específicos sobre esta cultivar, particularmente sobre sua demanda hídrica, visto que esta é uma das cultivares de maior área plantada no Submédio do Vale São Francisco,

A preocupação com a crise hídrica tem proporcionado uma evolução nos estudos voltados ao consumo hídrico da mangueira em geral, visto que ainda não se sabe muito sobre a demanda de suas cultivares, exceto da 'Tommy Atkins'. Portanto, torna-se necessário que esses estudos relacionem a demanda de água das demais cultivares, com as condições climáticas e a fenologia, a fim de gerar informações que possibilitem um manejo de irrigação mais eficiente. Assim, o objetivo do presente foi determinar a evapotranspiração da mangueira 'Kent' irrigada por microaspersão na região do Submédio do Vale São Francisco, com vistas à proposição do coeficiente da cultura para cada fase fenológica visando sua aplicabilidade no manejo eficiente da irrigação.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 A CULTURA DA MANGUEIRA

A mangueira (*Mangifera indica* L.) destaca-se como a principal espécie da família Anacardeaceae, que contempla os gêneros, *Mangifera*, *Anacardium*, *Pistachio* e *Spondias*. Essa cultura possui como característica marcante a produção de frutos de elevada qualidade e hoje é considerada uma das mais importantes frutíferas de clima tropical (FERREIRA et al., 2014). De origem Asiática, a mangueira se difundiu entre países tropicais e subtropicais, sendo cultivada em mais de 85 países. No Brasil, a mangueira é encontrada em quase todo o território nacional, fazendo com que o país seja considerado o sétimo maior produtor da fruta, superado apenas pela Índia, China, Tailândia, Indonésia, México e Paquistão (FAO, 2017). Segundo o Anuário Brasileiro de Horti e Fruti (2019), a exportação brasileira de manga em 2018 compreendeu cerca de 170 mil toneladas, com destaque para a região nordeste, a maior produtora da fruta no país.

O Submédio do Vale São Francisco é a área com maior produção do país, sendo responsável por cerca de 87% do total exportado. Esses números são possíveis, dentre outros motivos, devido ao alto investimento em infraestrutura voltada à produção de frutos para o mercado externo (SILVA et al., 2015). Segundo Álvares et al. (2013), a precipitação anual dessa área está em torno de 500 mm, com período seco prolongado (nove meses) e chuva concentrada entre fevereiro e abril. De acordo com dados do Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Semiárido, o período de 1963 a 2014, apresentou temperatura do ar média anual de 26,2 °C, variando de 24 °C a 28 °C, respectivamente nos meses de julho e novembro. Para esses mesmos meses, os valores máximos e mínimos mensais médios foram de 29,7 °C e 34,0 °C, e de 18,1 °C e 22,0 °C, respectivamente. Trata-se de uma região com pouca variação térmica, o que permite crescimento vegetativo ao longo de todo ano. Schaffer et al. (2009) afirmaram que a mangueira pode suportar temperatura de até 48 °C e inferior a 10 °C, entretanto, Moura et al. (2015) recomendam o cultivo em regiões com temperatura média entre 20 e 30 °C. Para o período de crescimento vegetativo da mangueira, recomenda-se temperatura entre 20 e 29 °C, não devendo ultrapassar 33 °C na fase de desenvolvimento dos frutos (PORTELA et al., 2008). Em condições tropicais, a

concentração da floração e a indução de gemas florais ocorre mais facilmente nas épocas em que as máximas não ultrapassam 28 °C durante o dia e 18 °C durante a noite (LIMA FILHO et al., 2002). Na região do Submédio do Vale São Francisco essas condições ocorrem com maior frequência entre maio e agosto (TEIXEIRA, 2010), e são responsáveis, juntamente com a reduzida umidade do solo e a aplicação de indutores florais, pela intensa floração da mangueira.

De acordo com Moura et al. (2015), a produção de mangas sob condições naturais deve ocorrer em áreas cuja precipitação esteja entre 750 e 1600 mm anuais e bem distribuídos, com necessidade de existir pelo menos dois meses consecutivos com menos de 25 mm de chuvas. Essa condição é essencial para reduzir a umidade do solo e concentrar a floração. Em Petrolina, principal região produtora de manga para exportação do país, a precipitação pluviométrica média anual é de 526,4 mm, concentrada entre os meses de novembro e abril, quando ocorrem 89% do total anual de chuva. Dessa forma, os cultivos necessitam de constante irrigação, pois além de reduzida precipitação, com grande variabilidade espaço-temporal, essa região tem elevados índices de evapotranspiração potencial, resultando em balanço hídrico negativo durante todo ano. Os reduzidos totais de chuva resultam em baixa umidade relativa média do ar, que variam entre 54,7% no mês de outubro e 71,9% no mês de abril.

Em termos de disponibilidade de energia, a radiação solar incidente anual média corresponde a 18,2 MJ m⁻² dia⁻¹; variando entre 14,4 e 20,7 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente nos meses de junho e outubro (TEIXEIRA, 2010). Para a mangueira, essas condições não restringem o processo fotossintético, e desde que haja disponibilidade de água, a cultura apresenta-se em crescimento vegetativo e reprodutivo. A partir da floração, o crescimento vegetativo se reduz para que as reservas sejam destinadas ao crescimento e maturação dos frutos. Estudos desenvolvidos por Dias et al. (2011) comprovaram que a produção de matéria seca dos frutos está estreitamente relacionada com a quantidade de radiação interceptada pelo dossel, que por sua vez interfere nos processos de fotossíntese e transpiração.

Se tratando de uma cultura arbórea, a mangueira é caracterizada por possuir porte significativamente elevado, com alta densidade de folhas e sistema radicular do tipo pivotante (CALDAS, 2009). A conformação da copa depende do manejo de poda realizado no cultivo, além de que, o espaçamento utilizado pode interferir no

desenvolvimento lateral dos ramos, influenciando em sua área de projeção. Gopu et al. (2014) verificaram que o manejo de poda interfere diretamente nas características do fruto (peso, comprimento, polpa, acidez, etc.); na inflorescência (número de panículas e de flores hermafroditas); na relação carbono:nitrogênio (C:N); nos teores de clorofila; nas medidas biométricas (altura, diâmetro e índice de área foliar) e na interceptação de luz. Segundo Rajan et al. (2001) a distribuição da luz dentro do dossel maximiza o processo fotossintético, o crescimento dos frutos e o desenvolvimento da planta, podendo variar conforme as características das cultivares, manejo adotado e condições climáticas.

Dentre as cultivares encontradas no Brasil, Oliveira et al. (2010) destacam a 'Espada', 'Coqueiro' e 'Ourinho', como variedades de primeira era (antes das tecnologias de produção) e a 'Tommy Atkins', 'Haden', 'Palmer', 'Keitt', 'Van Dyke' e 'Kent', de segunda era (após as tecnologias de produção). A cultivar Tommy Atkins ocupa a maior área plantada no Brasil, devido a alta exigência de mercado por seus frutos. Entretanto, a preferência do mercado exterior tem proporcionado uma expansão das áreas cultivadas com 'Keitt', 'Kent' e 'Palmer' (FIGUEIREDO NETO et al., 2017). Pinto, Pinheiro Neto e Guimarães (2011) afirmam que a escolha da cultivar vai depender da sua produtividade, resistência a pragas e doenças, precocidade, peso dos frutos, brix e do teor de fibras, mas também, do mercado a que se destina a produção. Segundo Figueiredo Neto et al. (2017), a cultivar Kent apresenta fruto relativamente grande (13 cm), com peso entre 600 e 800 g, maturação tardia e suscetibilidade às principais doenças, porém, a coloração, aroma, brix, ausência de fibras e consistência da polpa, agradam o mercado externo.

Para suprir as demandas internas e externas, o Brasil, tem buscado investir em tecnologias que proporcionem maior produtividade e qualidade dos frutos. Segundo o IBGE (2017) entre os anos de 2015 e 2016, houve uma pequena redução na área colhida passando de 64.305 para 61.842 hectares, no entanto, houve um aumento na produção de 976.815 para 1.000.189 toneladas, comprovando a melhoria da adoção das tecnologias de manejo. Essa eficiência na produção apresenta reflexo positivo na exportação brasileira de manga, que em 2017 aumentou 16% (25.390 toneladas), quando comparada ao ano anterior (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2018).

Visando maximizar ainda mais essa produção, desenvolver, aprimorar e combinar técnicas de produção é indispensável. Para realizar um manejo de irrigação eficiente, por exemplo, faz-se necessário reunir informações, sobre as características da cultura (tipo de cultura, estágio fenológico, cultivares, etc.), do solo (tipo do solo, fertilidade, profundidade, etc.) e do clima da região (temperatura, umidade relativa, radiação, precipitação, etc.).

Embora semelhantes, não se pode afirmar que as exigências hídricas e climáticas de todas as cultivares desta espécie sejam iguais, pois as mesmas possuem características fenológicas, fisiológicas, fenotípicas e resistência a pragas e doenças distintas. A mangueira 'Kent', por exemplo, apresenta maturação tardia, dificuldade de resposta na indução floral e características do fruto (tamanho, peso, teor de fibra) diferente da 'Tommy Atkins' e isso pode interferir no seu consumo hídrico. Portanto, faz-se necessário estudos mais detalhados visando um manejo eficiente que proporcione maiores produtividades, que no caso, no presente trabalho se restringe a determinação da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo.

2.2 BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA

Dentre os elementos climáticos, a radiação incidente a superfície tem se mostrado muito importante no desenvolvimento e na produção da mangueira (ESPINOLA SOBRINHO et al., 2004), bem como essencial na definição da demanda hídrica da cultura (AZEVEDO et al., 2003; SILVA et al., 2007; TEIXEIRA et al., 2008a; TEIXEIRA et al., 2008b; SOUZA et al., 2018). Dessa forma, é essencial que se compreenda como os diferentes componentes do balanço de radiação interagem em um pomar de mangueiras. Sob aspectos gerais, o balanço de radiação (BR) resulta no saldo de radiação (R_n), que se refere à energia disponível para os processos biofísicos que ocorrem em uma determinada superfície (LEITÃO et al., 2000; BERGAMASCHI e BERGONCI, 2017). Essa energia (R_n) é obtida pela soma dos balanços de ondas curta (BOC) e de ondas longas (BOL) resultantes da diferença entre as radiações que alcançam (R_g e R_a) e que deixam a superfície (R_r e R_s), conforme expressão a seguir:

$$R_n = BOC + BOL \quad (1)$$

$$BOC = R_g - R_r \quad (2)$$

$$BOL = R_a - R_s \quad (3)$$

Em que,

R_n = Saldo de radiação, em $W\ m^{-2}$ ou $MJ\ m^{-2}$;

BOC = Balanço de ondas curtas, em $W\ m^{-2}$ ou $MJ\ m^{-2}$;

BOL = Balanço de ondas longas, em $W\ m^{-2}$ ou $MJ\ m^{-2}$;

R_g = Radiação de ondas curtas incidente à superfície, em $W\ m^{-2}$ ou $MJ\ m^{-2}$;

R_r = Radiação de ondas curtas refletida pela superfície, em $W\ m^{-2}$ ou $MJ\ m^{-2}$;

R_a = Radiação de ondas longas emitida pela atmosfera, em $W\ m^{-2}$ ou $MJ\ m^{-2}$,

R_s = Radiação de ondas longas emitida pela superfície, em $W\ m^{-2}$ ou $MJ\ m^{-2}$.

O balanço de ondas curtas ocorre durante o período diurno, apresentando valores de R_g superiores aos valores de R_r , tornando-o positivo e fazendo com que a superfície armazene a maior parte da radiação incidente (BERGAMASCHI e BERGONCI, 2017). Neste balanço, a radiação de ondas curtas proveniente do sol incide na atmosfera terrestre, sendo uma parte refletida (6%) e outra absorvida (19%). Da radiação que atinge a superfície (55%), 51% ficam retidos na mesma, enquanto os 4% é refletida para atmosfera, ocasionando o fechamento do BOC. Já o balanço de ondas longas (BOL) ocorre durante os períodos diurno e noturno. No BOL, a energia emitida pela superfície (R_s) é superior à emitida pela atmosfera (R_a), fazendo com que seus valores sejam negativos (Figura 1). Todo esse processo de entrada e saída de energia proporciona um saldo de radiação (R_n) de 30%, que será utilizado principalmente pelos fluxos de calor latente (LE) e de calor sensível (H), representantes dos processos de evapotranspiração e aquecimento do ar, respectivamente (AHRENS, 2000; SILVA, 2009).

Além de utilizada nos processos de evapotranspiração (LE) e aquecimento do ar (H), parte desta energia também é destinada aos processos de fotossíntese (F), aquecimento do dossel (A) e aquecimento do solo (G), caracterizando o balanço de energia (BE), expresso pela equação (PEREIRA et al., 2013):

$$R_n = LE + H + F + A + G \quad (4)$$

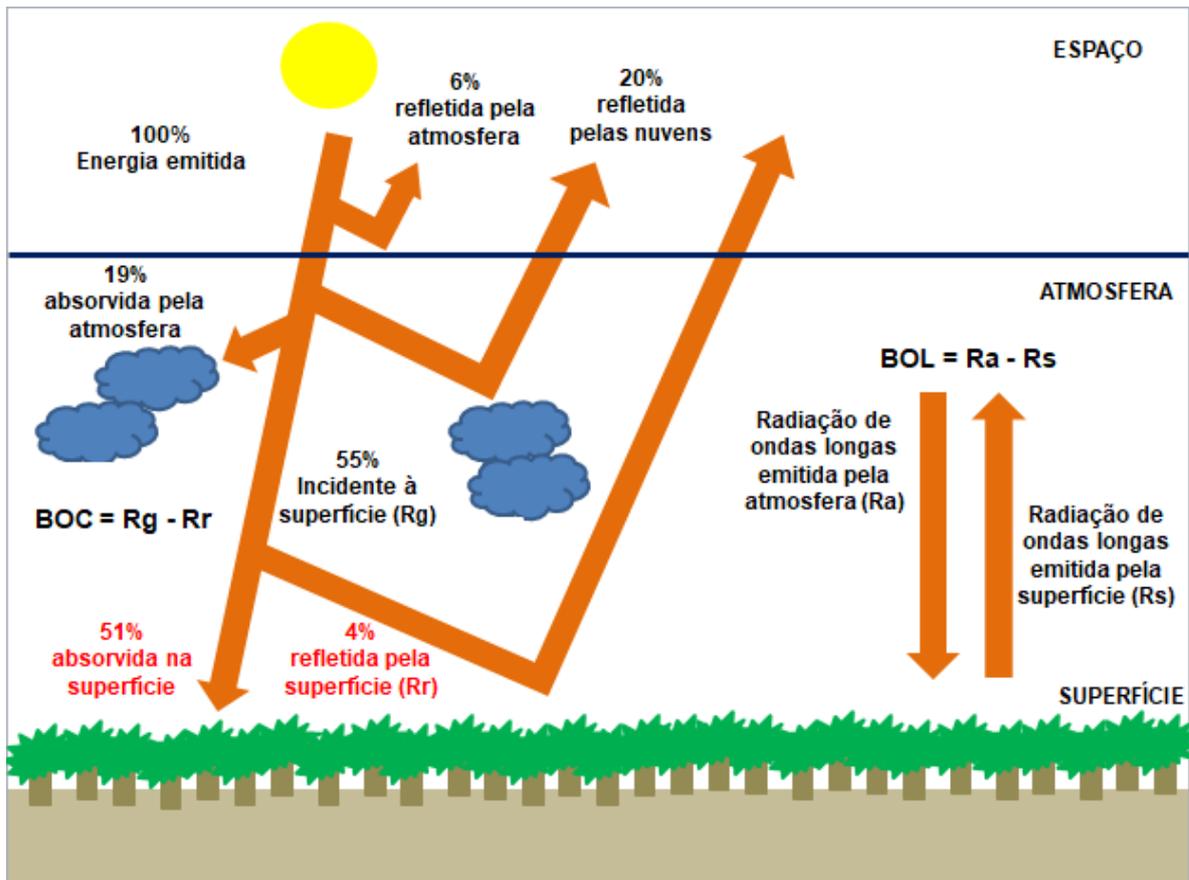


Figura 1. Balanço de radiação e de energia de uma superfície. Fonte: adaptado de Silva (2009).

Entretanto, o processo fotossintético e o aquecimento das folhas representam menos de 3% de R_n , e podem ser desconsiderados, sem proporcionar erros consideráveis, pois havendo condições hídricas favoráveis à vegetação, a maior parte da energia será voltada ao processo de evapotranspiração, ficando o aquecimento do ar e do solo, em segundo plano (PEREIRA et al., 2013; BERGAMASCHI e BERGONCI, 2017). Com isso, o balanço de energia simplificado é determinado da seguinte forma:

$$R_n = LE + H + G \quad (5)$$

A quantificação desses componentes possibilita entender a interação solo-planta-atmosfera, fornecendo informações precisas para subsidiar o planejamento agrícola, principalmente no que diz respeito ao manejo de água de um cultivo. Dentre os métodos de determinação da evapotranspiração da cultura que utilizam

informações dos componentes do balanço de energia, destacam-se: Método de Priestley & Taylor; Método do Balanço de Energia com base na razão de Bowen e Método das Correlações dos vórtices turbulentos.

A avaliação da disponibilidade de energia em cultivos agrícolas tem se tornado comum nos últimos anos, na busca de melhor se entender as relações existentes entre a cultura e os diversos componentes energéticos envolvidos. Borges et al. (2008) ao avaliarem o balanço de energia para a mangueira 'Tommy Atkins' em Petrolina-PE, durante o ciclo 2004-2005, verificaram que o saldo de radiação médio diário (R_n) utilizado pelos processos biofísicos durante a fase reprodutiva (florescimento ao final da maturação dos frutos) representou $292,9 \text{ W m}^{-2}$, sendo sua maior parte consumida pelo fluxo de calor latente (LE), seguida do calor sensível (H) e calor do solo (G). Teixeira et al. (2008a) e Teixeira et al. (2008b) verificaram o mesmo comportamento, para a mesma cultivar, também em Petrolina, com valores R_n compreendendo $10,83 \text{ MJ m}^{-2}$. Resultados encontrados por Souza et al. (2018) na região nordeste do Pará, também concordam com a tendência de distribuição do R_n entre os fluxos de LE e H, sendo que o saldo de radiação apresentou diferença média de $1,3 \text{ MJ m}^{-2}$ quando comparados dois ciclos reprodutivos.

Variações de R_n influenciam na dinâmica dos fluxos e afetam a intensidade dos mesmos. Essas variações geralmente estão associadas às condições atmosféricas locais, principalmente aos eventos de nebulosidade e precipitação, que minimizam os valores da radiação global (R_g) (SOUZA et al., 2018). Outro fator a ser levado em consideração é o coeficiente de reflexão da superfície, que segundo Leitão et al. (2000), varia conforme o desenvolvimento da cultura, manejo de irrigação, presença de nuvens e inclinação dos raios solares, provocando mudanças no comportamento das trocas de energia. Ainda em estudos realizados por Teixeira et al. (2008a) e Teixeira et al. (2008 b), foi verificado que R_g representa em média 51% dos valores de R_n da mangueira 'Tommy Atkins', que possui coeficiente de reflexão médio diário de 16% ao longo do ciclo produtivo.

Dentre os métodos utilizados na estimativa do balanço de energia, o método da razão de Bowen (BERB) tem sido amplamente utilizado, segundo a literatura, por apresentar bons resultados quando comparado aos métodos de correlações de vórtices turbulentos e aerodinâmico, além de ser considerado simples, prático e de baixo custo (SILVA, 2009).

Determinado por Bowen (1926), o BERB baseia-se em gradientes verticais de temperatura e pressão de vapor d'água, medidos em pelo menos dois níveis acima do dossel da cultura, para gerar um coeficiente (β) a fim de estimar valores dos fluxos de calor latente (LE) e calor sensível (H), estabelecendo o fechamento entre os mesmos:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta t}{\Delta e_a} \quad (6)$$

Em que,

β = Razão de Bowen (adimensional);

γ = Constante psicométrica (kPa °C⁻¹);

Δt = Gradiente de temperatura (°C); e

Δe_a = Gradiente de pressão parcial de vapor d'água, em kPa.

A praticidade na estimativa de LE em um curto espaço de tempo tem feito com que esse método se torne bastante utilizado na determinação da evapotranspiração e do coeficiente de culturas agrícolas (SILVA et al., 2011; SOUZA et al., 2018). No entanto, a influência de fatores ambientais pode comprometer sua precisão, proporcionando erros na estimativa de LE. O efeito advectivo, por exemplo, desestabiliza a relação entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor (Kh) e de vapor d'água (Kw) (GAVILAN e BERENGENA, 2007) e altera a repartição da energia, superestimando os valores de evapotranspiração (OLIVEIRA e LEITÃO, 2000). Esse problema está associado à eficiência dos sensores utilizados e às medições realizadas acima do dossel da cultura, que encontram-se fora da camada limite (PEREZ et al., 1999; SOUZA et al., 2018). Segundo Gavilan e Berengena (2007) e Rosenberg et al. (1983), para minimizar o efeito da advecção e obter ótimas estimativas, faz-se necessário que a distância entre o ponto de coleta de dados e a bordadura seja no mínimo de 100 metros, porém, essa distância depende ainda da altura de medição acima do dossel. Valores de β também apresentam inconsistência durante o período noturno, sendo desconsiderados por alguns autores (PEREZ et al., 1999; LIN et al., 2016).

Em busca de alternativas para determinar com precisão os fluxos de LE e H, autores têm desenvolvido metodologias a fim de estimar, avaliar e rejeitar valores de

β que apresentem inconsistência (UNLAND et al., 1996; PEREZ et al., 1999), ou ainda, métodos simplificados para aplicação da técnica da razão de Bowen. Nesse sentido, Lin et al. (2016), sabendo da influência da instabilidade atmosférica na determinação dos valores de β , propuseram uma metodologia simplificada que toma como base dados de temperatura (K) e da umidade relativa do ar (decimal) para obtenção de β :

$$\beta = 1,46 \left(\frac{1}{UR} \right) \left(\frac{T}{273} \right)^2 \exp \left[-19,83 \left(1 - \frac{273}{T} \right) \right] \quad (7)$$

Dessa forma, não são necessárias medições da temperatura (T) e da pressão de vapor do ar (e) em dois níveis sobre a cultura, mas sim, em um único nível sobre o dossel; e ainda, Lin et al. (2016) propõem o uso direto da umidade relativa do ar, o que minimiza bastante a perda de dados em função do umedecimento inadequado do bulbo úmido, necessário para gerar dados consistentes de e. Assim, essa metodologia simplificada da razão da Bowen tem aplicabilidade mais ampla e fácil, e foi selecionada para uso no presente estudo.

2.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA

A evapotranspiração (ET) é o processo decorrente da ação conjunta da evaporação (E) da água presente na superfície e da transpiração (T) da água utilizada pelas plantas (PEREIRA et al., 2013). Em um cultivo agrícola, os valores de ETc são variáveis ao longo do ciclo, pois o consumo hídrico das plantas depende da disponibilidade de água no solo, da espécie cultivada, do índice de cobertura vegetal e das condições climáticas locais (ZUAZO et al., 2018), uma vez que esses fatores influenciam na oferta de água para a planta e na demanda hídrica atmosférica.

Estudos realizados para determinar a evapotranspiração da mangueira vem se intensificando no Brasil (AZEVEDO et al., 2003; SILVA et al., 2007; TEIXEIRA et al., 2008a; TEIXEIRA et al., 2008b; SOUZA et al., 2018), porém, ainda faz-se necessário estudos detalhados em termo de cultivares, índice de área foliar, diferentes espaçamentos e sistemas de irrigação, dentre outros aspectos do cultivo que alteram as relações hídricas nas plantas.

Estudos realizados por Silva (2000) indicam que a demanda hídrica da mangueira 'Tommy Atkins' durante o período reprodutivo (da floração à colheita) equivale a 3,5 mm dia⁻¹. Já Campos et al. (2008) analisando a mesma cultivar sob diferentes níveis de reposição hídrica, levando em consideração porcentagens do coeficiente da cultura ($K_{cr} - 20\%$, K_{cr} , $K_{cr} + 20\%$ e tratamento controle com base na lâmina de aplicada pelos produtores), obtiveram valores médios de ETc de 3,3 mm, 3,6 mm, 3,9 mm e 4,3 mm, respectivamente, demonstrando que a mangueira é responsiva a aplicação de água. Silva et al. (2007) também encontraram valores de ETc próximos aos citados, com média de 3,8 mm dia⁻¹. Outros resultados verificados por Azevedo et al. (2003) e Teixeira et al. (2008b) compreenderam lâminas de 3,7 mm e 4,4 mm, que segundo o último autor, essa diferença se deve aos espaçamentos utilizados e ao índice área foliar, visto que ambos os trabalhos foram realizados para as condições de Petrolina. Além disso, o segundo autor avaliou ciclos produtivos completos, enquanto o primeiro estudou o período compreendido entre a floração e a colheita. Logo, verifica-se que para mesma localidade e cultivar, as condições de manejo influenciam no consumo hídrico das culturas.

Outro parâmetro que vem sendo objeto de estudos é o coeficiente de cultivo (K_c). Obtido pela relação entre ETc e ETo, o K_c está diretamente relacionado à fenologia da cultura, podendo variar consideravelmente. Coelho et al. (2008) analisando a produtividade da mangueira submetida a diferentes lâminas de reposição de água, verificaram que o tratamento com maior produtividade (lâmina total de 751 mm) apresentou K_c variando entre 0,48 e 1,27. Valores de K_c também foram encontrados por Teixeira et al. (2008b) durante dois ciclos produtivos consecutivos da mangueira 'Tommy Atkins' no município de Petrolina, apresentando médias de 0,97 e 0,85, respectivamente. Já Azevedo et al. (2003), citam que para as condições da região de Petrolina, o K_c médio representa valor de 0,71, com valores mínimos e máximos próximos de 0,40 e 1,00, respectivamente, sendo esses influenciado pelo índice de área foliar.

Assim como para a ETc, os valores de K_c citados se referem apenas à cultivar 'Tommy Atkins', além de que, quase todos os trabalhos encontrados na literatura abordam apenas o ciclo reprodutivo (florescimento a maturação dos frutos), tornando-se necessário um estudo detalhado para outras cultivares e fases fenológicas, pois a mangueira recebe irrigação durante todo seu ciclo, e a longa

duração da fase de crescimento vegetativo requer aplicação de água controlada para as aplicações de produtos químicos essenciais para paralização do crescimento e indução da floração.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a evapotranspiração da mangueira 'Kent' irrigada por microaspersão na região do Submédio do Vale São Francisco, visando à obtenção do coeficiente da cultura para cada fase fenológica e sua aplicabilidade no manejo eficiente da irrigação.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir as fases fenológicas para associação com os parâmetros de crescimento e demanda de água da mangueira 'Kent';
- Avaliar a sazonalidade dos componentes dos balanços de radiação e de energia durante dois ciclos produtivos da mangueira 'Kent' irrigada por microaspersão na região do Submédio do Vale São Francisco;
- Determinar a evapotranspiração e o coeficiente de cultura da mangueira 'Kent' produzida na região do Submedio São Francisco.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA E CULTURA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em um pomar comercial de mangueira pertencente à fazenda Andorinhas (9°27'16" S; 40°36'55"; 380 m), localizada no município de Petrolina, Pernambuco, no Submédio do Vale São Francisco (Figura 1). Segundo a classificação de Koppën, a região possui clima do tipo Bsw^h (semiárido), com período chuvoso entre os meses de janeiro e abril (ÁLVARES et al., 2013).

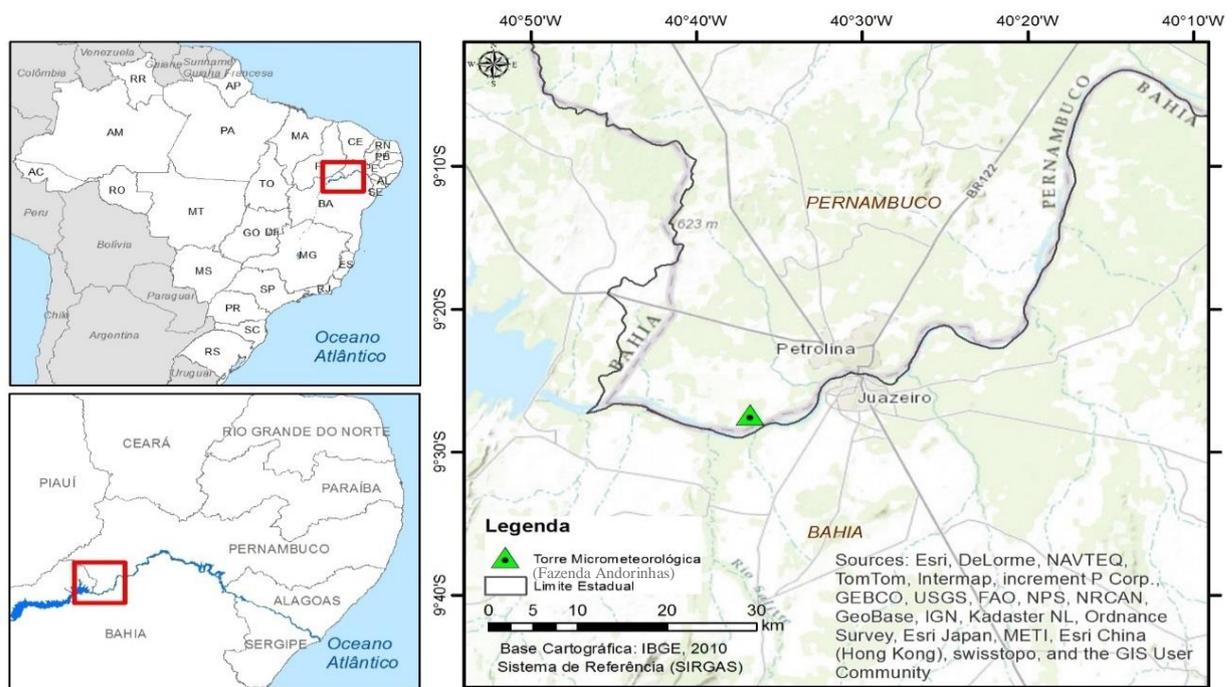


Figura 2. Localização da área experimental (Fazenda Andorinhas), em Petrolina, PE.

A área de estudo compreendeu um talhão de 5,01 ha cultivado com mangueira cultivar Kent, aos nove anos de plantio, orientado no sentido Leste-Oeste, sob espaçamento de 4 x 6 m (24 m²). A irrigação do pomar foi realizada diariamente durante dois turnos (5:00 às 7:00 da manhã e 13:00 às 15:00 da tarde, aproximadamente), tomando como base a demanda da cultura adotada pelos técnicos da fazenda. O sistema de irrigação utilizado foi por microaspersão, no qual, testes de campo indicaram vazão de média de 24 l h⁻¹, que proporcionou diâmetro molhado de 4,80 m (18,09 m²), a uma pressão média de saída de 4 kgf cm⁻². O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) do sistema apresentou valor

médio 80% sendo classificado como bom segundo a metodologia proposta por Mantovani (2001). O solo da área experimental é classificado como arenoso, e o resultado da análise química encontra-se no Material Suplementar 1 (MS1).

O experimento foi conduzido entre junho de 2017 e outubro de 2018, compreendendo cinco meses do ciclo produtivo de 2016/2017 (10/06/2017 à 07/11/2017) e todo ciclo 2017/2018, que teve duração de doze meses (08/11/2017 à 20/10/2018).

O primeiro ciclo avaliado teve início no dia 21/11/2016 com a poda de produção. Após isso, foram efetuadas adubações à base de sulfato de amônia, sulfato de potássio e ácido orgânico. O Paclobutrazol (PBZ) foi aplicado entre 45 e 60 dias após a poda, juntamente com o ácido orgânico, compreendendo dosagens de 35 ml planta⁻¹ e 4 l ha⁻¹, respectivamente. Para maturação dos ramos, foram realizadas cinco aplicações à base de nitrato de potássio (2,5%) e enxofre (0,2%), em um volume de calda de 600 l ha⁻¹. Adubações foliares e via fertirrigação foram realizadas semanalmente a fim de suprir necessidades de nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio, magnésio e boro. Dosagens de aminoácido (0,5%) também foram efetuadas durante o ciclo produtivo segundo recomendações dos técnicos responsáveis da fazenda. O manejo de adubação do segundo ciclo foi semelhante ao realizado no primeiro, com início após a poda de produção ocorrida em 23/11/2017.

4.2 FENOLOGIA E PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DA CULTURA

A fenologia e os parâmetros de crescimento da cultura foram determinados a partir do monitoramento quinzenal de dez plantas selecionadas no interior do pomar. As fases fenológicas foram analisadas adaptando a metodologia de Rodrigues et al. (2013), levando em consideração a presença de pelo menos 51% das características específicas de cada fase. Para a fase de crescimento vegetativo foram considerados os dias entre a poda de produção e o início do aparecimento das panículas; a floração compreendeu o período de abertura das panículas ao aparecimento dos chumbinhos (frutos pequenos); a fase de queda de frutos foi considerada a partir da presença de frutos na planta ou no chão em tamanho chumbinhos ou “bola de bilhar”; e a fase de formação + maturação dos frutos foi considerada aquela entre o período de frutos maiores que uma “bola de bilhar” e a colheita, conforme

apresentados na Figura 3. Na Tabela 1 estão apresentados os períodos de duração de cada fase fenológica analisada para os dois ciclos produtivos.

Tabela 1. Períodos fenológicos da mangueira cv. Kent cultivada no Submédio São Francisco.

Fenologia	Ciclo 2016-2017	Nº Dias	Ciclo 2017-2018	Nº Dias
Crescimento vegetativo	-	-	08/11/2017 à 22/05/2018	192
Floração	-	-	23/05/2018 à 26/06/2018	35
Queda de frutos	10/06/2017 à 25/08/2017	77	27/06/2018 à 22/08/2018	57
Formação dos frutos + Maturação dos frutos	26/08/2017 à 07/11/2017	74	23/08/2018 à 20/10/2018	59



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. Representação das fases fenológicas da mangueira 'Kent' cultivada no Submédio do Vale do São Francisco: a) Crescimento vegetativo; b) Floração; c) Queda dos frutos e d) Formação dos frutos + Maturação dos frutos. Fotos: Marcelo José da Silva.

O crescimento da cultura foi avaliado por meio de campanhas biométricas quinzenais para medição da altura da planta (AP, m); comprimento (CC, m) e largura média (LC, m) da copa nas direções Norte-Sul e Leste-Oeste, como ilustrado na Figura 4. A partir das medidas de largura da copa foi calculada a área de projeção da copa (AP, m²). Para isso, considerou-se como sendo a área de um círculo, onde a média das duas larguras representa o diâmetro médio da planta. Outro parâmetro de crescimento determinado em campo foi o índice de área foliar (IAF, m² m⁻²), estimado por meio do método indireto de interceptação de luz, utilizando um Ceptômetro (Accupar LP-80, Decagon Devices). Para isso, foram realizadas quatro leituras de referência, para obtenção dos dados de radiação fotossinteticamente ativa incidente acima do dossel; e oito leituras abaixo da copa, a cada 30 cm de distância uma da outra no sentido entre fileiras, para obtenção da média da radiação fotossinteticamente ativa abaixo da copa.



Figura 4. Medidas biométricas sendo realizadas na mangueira 'Kent' no Submedio do Vale São Francisco: a) altura da planta; b) comprimento da copa; c) largura Norte-Sul e d) largura Leste-Oeste. Fotos: Marcelo José da Silva

4.3 MONITORAMENTO MICROMETEOROLÓGICO

O monitoramento das variáveis micrometeorológicas foi realizado por meio de sensores instalados em uma torre de 8 metros de altura fixada no interior do pomar (Figura 5). Foram as seguintes variáveis: radiação solar global incidente (R_g , $W\ m^{-2}$), radiação refletida pela superfície (R_r , $W\ m^{-2}$), radiação de ondas longas emitida pela atmosfera (R_a , $W\ m^{-2}$), radiação de ondas longas emitida pela superfície (R_s , $W\ m^{-2}$), temperatura do bulbo seco (T_s , °C) e do bulbo úmido (T_u , °C), temperatura (T_{ar} , °C) e umidade relativa do ar (UR, %); fluxo de calor do solo (G , $W\ m^{-2}$); precipitação pluviométrica (P , mm) e umidade do solo (US , $cm^3\ cm^{-3}$). Detalhes dos sensores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Sensores utilizados no monitoramento micrometeorológico em pomar de mangueira na Fazenda Andorinhas, Petrolina, PE.

Parâmetro	Instrumento	Modelo/Fabricante/ local	Medição	Altura (m)
R_g , R_r , R_a , R_s e R_n	Saldo radiômetro	CNR1 Net radiometer, Kipp & Zonen B.V., Delft, Netherlands	Componentes do balanço de radiação	7,0 m
T_s e T_u	Termopares	Tipo T, Cobre-Constantan	Temperatura do bulbo seco e úmido	0,5 e 2,0 m*
T_{ar} e UR	Termohigrômetro	HMP45C	Temperatura e umidade relativa do ar	0,5 e 2,0 m*
G	Fluxímetro	HFT3-REBS, Campbell Scientific, Inc, Logan, Utah, USA	Fluxo de calor do solo	- 0,05 m
P	Pluviômetro	CS700-L Hydrological Services Rain Gage, Liverpool, Australian	Precipitação	8,0 m
US	Sensor FDR	CS615, Campbell Scientific	Umidade do solo	- 0,4 e 0,7 m

* Altura em relação ao dossel.

Todos os sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados (modelo CR5000, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA) programado para

realizar medidas a cada 30 segundos e armazenar médias em intervalos de 10 minutos, que foram convertidos para médias de 30 minutos.

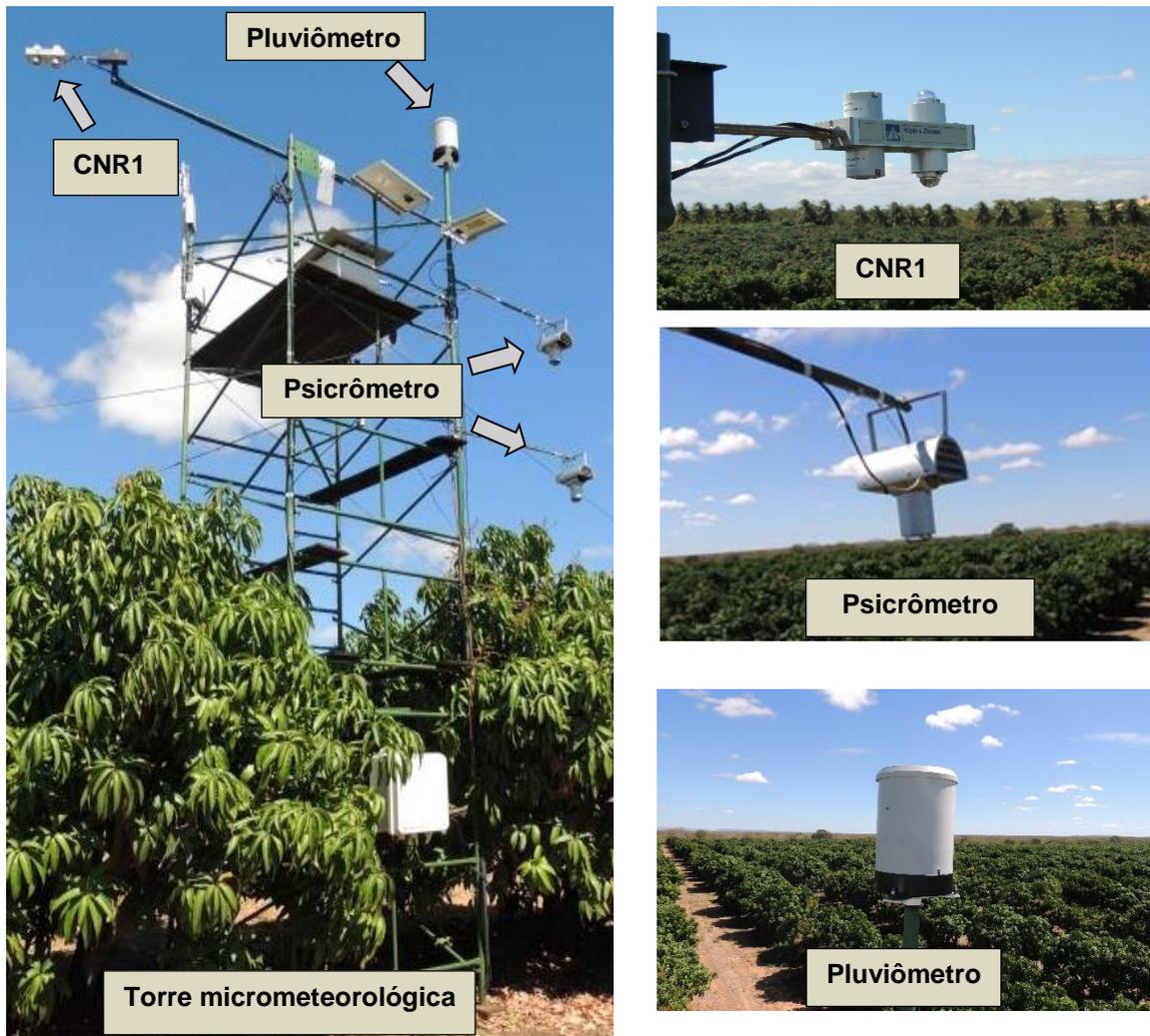


Figura 5. Torre micrometeorológica equipada com sensores e sistema de aquisição de dados para monitoramento dos elementos microclimáticos de um pomar de mangaieira 'Kent', cultivada no Submédio do Vale do São Francisco.

Fotos: Marcelo José da Silva.

4.4 BALANÇO DE RADIAÇÃO

O saldo de radiação (R_n) foi obtido pela soma da diferença entre as radiações que chegam e deixam a superfície na forma de ondas curtas e longas, conforme equação:

$$R_n = (R_g - R_r) + (R_a - R_s) \quad (8)$$

onde,

R_g = Radiação solar global ou radiação de ondas curtas incidente a superfície, $W m^{-2}$;

R_r = Radiação de ondas curtas refletida pela superfície, $W m^{-2}$;

R_a = Radiação de ondas longas emitida pela atmosfera, $W m^{-2}$, e

R_s = Radiação de ondas longas emitida pela superfície, $W m^{-2}$.

A partir dos valores de R_g e R_r foi calculado o coeficiente de reflexão ou albedo (α) da superfície, sendo esse expresso em % (equação 9):

$$\alpha = \frac{R_r}{R_g} \times 100 \quad (9)$$

4.5 BALANÇO DE ENERGIA

O balanço de energia (BE) foi obtido pela partição do saldo de radiação (R_n) entre os fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e calor no solo (G), como representado pela equação:

$$R_n = LE + H + G \quad (10)$$

em que,

LE = fluxo de calor latente, $W m^{-2}$;

H = fluxo de calor sensível, $W m^{-2}$, e

G = fluxo de calor no solo, $W m^{-2}$.

Os fluxos LE e H foram estimados por meio do método do balanço de energia com base na razão de Bowen, conforme expressões a seguir:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (11)$$

$$H = \frac{\beta (R_n - G)}{1 + \beta} \quad (12)$$

em que,

β = razão de Bowen (adimensional).

Os valores de β foram obtidos levando em consideração a temperatura e a umidade relativa do ar, seguindo o modelo proposto por Lin et al. (2016):

$$\beta = 1,46 \left(\frac{1}{UR} \right) \left(\frac{T}{273} \right)^2 \exp \left[-19,83 \left(1 - \frac{273}{T} \right) \right] \quad (13)$$

onde,

UR = umidade relativa do ar (decimal), e

T = temperatura do ar (K).

Todos os componentes dos balanços de radiação e de energia foram registrados como médias em intervalos de 30 minutos ($W m^{-2}$) e integrados em totais diários em $MJ m^{-2}$. Posteriormente foram computados os valores médios por fase fenológica, considerando os dois ciclos produtivos avaliados no presente estudo.

Durante alguns dias do ciclo 2017-2018, devido a problemas no sistema de energia da torre, fez-se necessário realizar o preenchimento de falhas em 14,78% dos dados do período de estudo para obtenção de uma série contínua. Dados de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar incidente, velocidade do vento e precipitação medidos na torre foram correlacionados ($p < 0,05$) com medições realizadas na estação agrometeorológica da Embrapa Semiarido localizada dentro da Fazenda Andorinhas, e em segunda opção, usou-se a correlação com a estação do Salitre. Para o preenchimento de falhas dos componentes do balanço de radiação (R_n , R_r , R_a e R_s) medidas na torre, foram obtidas equações de correlação significativas ($p < 0,05$) entre estes e os valores de R_g medidos na torre micrometeorológica. Após o preenchimento de falhas, foi obtido um banco de dados contínuo para todos os parâmetros ambientais necessários ao cálculo de LE e H, assim como para determinação de ETc em escala de 30 minutos.

4.6 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA

A evapotranspiração da cultura (ET_{C30min}) foi estimada com base nos valores de LE a cada 30 minutos, conforme a expressão a seguir:

$$ET_{C30min} = \frac{LE \times t \times f_{tempo}}{L} \quad (14)$$

em que,

LE = fluxo de calor latente ($W m^{-2}$);

t = intervalo dos valores médios armazenados (30 minutos);

f_{tempo} = fator de ajuste da escala de tempo (60 s);

L = calor latente de vaporização ($J kg^{-1}$).

A partir dos valores médios de ET_c de 30 minutos foi possível obter a $ET_{Cdiária}$ levando em consideração o período do dia em que $R_n - G > 0$:

$$ET_{Cdiária} = \sum_{R_n-G>0}^{i=1} ET_{C30min} \quad (15)$$

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi realizada segundo o método de Penman-Monteith parametrizado pelo boletim da FAO 56 (ALLEN et al., 1998), utilizando os dados da estação meteorológica da Embrapa Semiárido localizada a 5 km do pomar de estudo. Assim, por meio da relação entre ET_c e ET_o foi calculado o coeficiente de cultura (K_c) referente a cada fase fenológica da mangueira, seguindo a equação:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (16)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A Figura 6 apresenta as variáveis ambientais durante o período experimental. A temperatura do ar (T) foi maior entre os meses de novembro e dezembro (31,63 °C), enquanto os menores valores foram verificados no mês de junho e julho (20,19 e xx °C), coincidindo com as fases de crescimento vegetativo e queda de frutos, respectivamente. Temperaturas amenas entre o florescimento e a queda de frutos são de extrema importância, pois o sucesso na emissão novas inflorescências depende de temperaturas mais baixas. A umidade relativa do ar (UR) mostrou-se inversamente proporcional a temperatura, atingindo valor máximo de 87% durante o período em que houve maiores índices de precipitação na área de estudo. Comportamento inverso também foi evidenciado entre a umidade relativa (UR) e o déficit de pressão de vapor (DPV), visto que, quanto maior a UR menor quantidade de vapor é necessária para haver saturação do ambiente. Esse fato pode ser comprovado durante o crescimento vegetativo, período em que houve maior intensidade de precipitação. A precipitação pluviométrica (P) correspondeu a 97 mm para todo o período experimental, enquanto a lâmina de irrigação total aplicada foi de 1.856,7 mm.

Os maiores valores de umidade do solo (US) foram verificados nas camadas superficiais, enquanto as profundidades de 0,40 e 0,70 m apresentam valores máximos de 0,18 e 0,9 cm³ cm⁻³, respectivamente. Embora o solo apresente textura arenosa, a concentração de folhas e galhos na superfície, resultantes do manejo de poda, e a realização do manejo de irrigação em dois turnos durante o dia, diminuiu o efeito de percolação, concentrando os maiores valores de umidade nas camadas superiores.

Assim como as demais culturas, a mangueira possui exigências agrometeorológicas peculiares. Segundo Teixeira et al. (2008b), a faixa de temperatura ideal para o cultivo da mangueira fica entre 25°C e 35°C, sendo que valores inferiores são importantes para a floração. O déficit de pressão de vapor (DPV) também deve ser analisado de forma cautelosa, uma vez que o mesmo, influencia no manejo de irrigação (SILVA et al., 2015a).

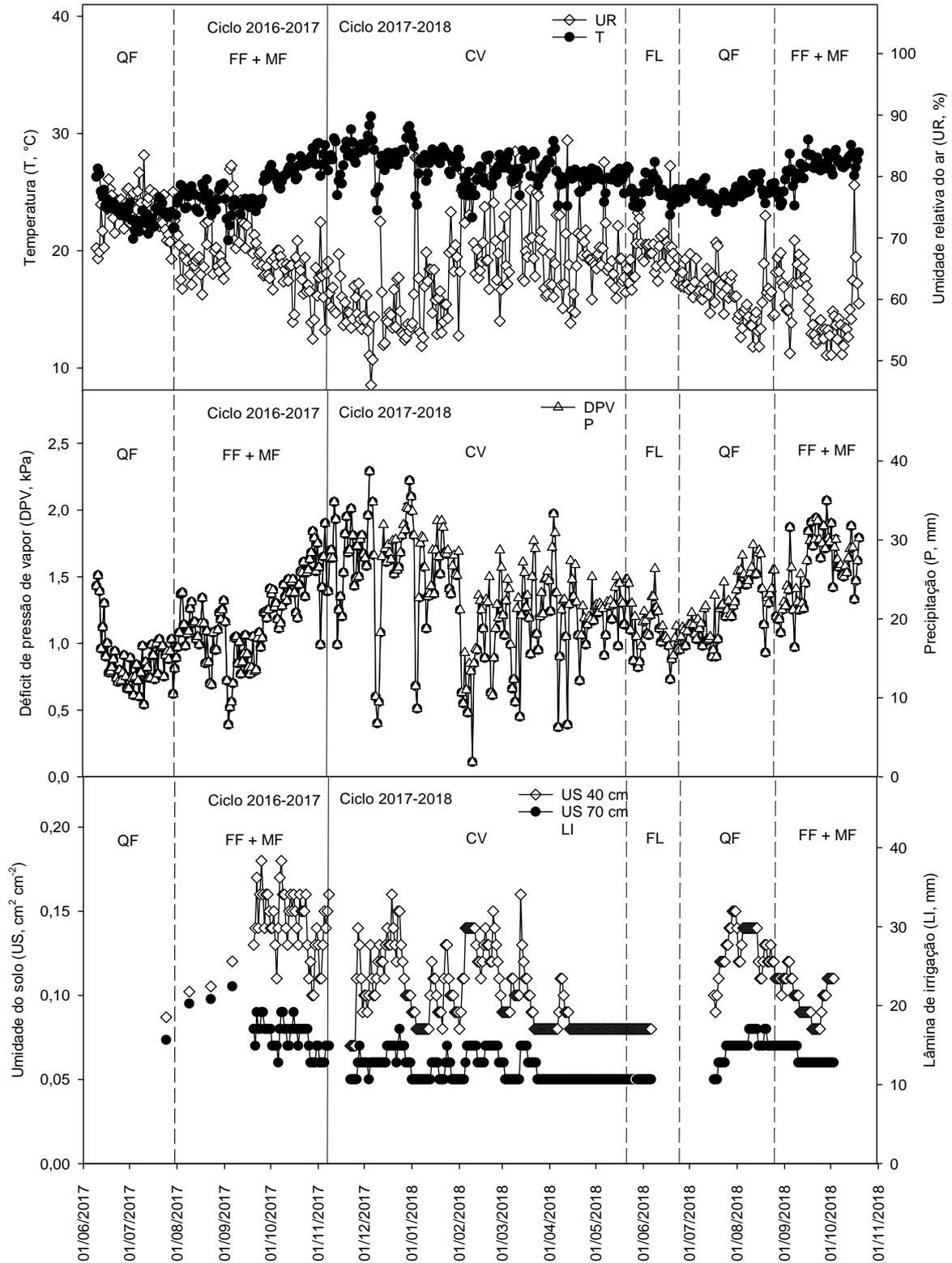


Figura 6. Média diária das variáveis ambientais observadas em um pomar de mangaieira 'Kent' cultivada no Submédio do Vale do São Francisco. CV – Crescimento vegetativo; FL – Florescimento; QF – Queda de frutos e FF+MF – Formação + Maturação dos Frutos.

5.2 ANÁLISE DE CRESCIMENTO DA CULTURA

A análise de crescimento foi realizada considerando a fenologia da mangueira (Tabela 3) a fim de se caracterizar as fases fenológicas e fazer suas associações com a demanda hídrica. Notou-se pequena variação nas médias biométricas (altura da planta, comprimento e largura da copa). Durante a fase vegetativa as plantas apresentaram uma altura média de $3,39 \pm 0,06$ m passando a $3,34 \pm 0,03$ m na maturação dos frutos, enquanto o comprimento da copa passou de $2,70 \pm 0,12$ m para $2,73 \pm 0,04$ m e a largura média da copa passou de $4,03 \pm 0,07$ m para $4,19 \pm 0,09$ m na frutificação. Isso resultou em área de projeção da copa média de $13,85 \pm 3,53$ m² durante todo período de estudo. Conforme verificado, a área molhada pelo microaspersor correspondeu a $18,09$ m², ligeiramente superior a área de projeção da copa, e essas informações devem ser utilizadas pelo produtor para ajustes no manejo de água na propriedade. Todas as variáveis de crescimento citadas, apresentaram incremento em seus valores até a fase de queda de frutos, havendo redução na fase seguinte (Formação dos frutos + Maturação dos frutos).

O índice de área foliar apresentou média geral de $5,84$ m² m⁻², havendo uma redução aparente de $0,91$ m² m⁻² entre as fases de crescimento vegetativo e frutificação. Essa redução foi evidenciada a partir da queda dos frutos, tornando-se mais intensa durante a frutificação, uma vez que os frutos, quando desenvolvidos, puxam os galhos para baixo, ocasionando maior abertura da copa e permitindo maior incidência de radiação no interior do pomar. Ou seja, essa redução não se deveu ao fato da mangueira perder folhas, mas sim a concentração das mesmas na bordadura da copa, favorecendo a passagem de luz pelo dossel, influenciando nos valores de IAF, cujo método usado em sua determinação se baseia na interceptção de radiação fotossinteticamente ativa. Além disso, os nutrientes absorvidos são direcionados ao crescimento dos frutos em detrimento da emissão de novas folhas.

O conhecimento dessas informações é essencial para esse estudo, uma vez que as mesmas estão correlacionadas com a interceptação da energia que será distribuída entre os processos de evapotranspiração (LE), aquecimento do ar (H) e aquecimento do solo (G). Azevedo et al. (2003) mencionam que a área foliar ideal para a produção satisfatória da cultura vai depender da cultivar e do número de folhas durante a brotação e frutificação. Em trabalhos realizados por Souza et al.

(2018) e Teixeira et al. (2008b) com a cv. Tommy Atkins foram verificados IAF médio de 6,7 e 5,6 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, respectivamente.

Tabela 3. Parâmetros biométricos e índice de área foliar (IAF) para fases fenológicas do pomar de mangueira cv. Kent cultivada no Submédio Vale São Francisco.

Fenologia	Altura da planta (m)	Comprimento da copa (m)	Largura da copa (m)	Área de projeção da copa (m^2)	IAF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)
Crescimento vegetativo	3,39 ± 0,06	2,70 ± 0,12	4,03 ± 0,07	12,97 ± 3,11	6,14 ± 1,21
Floração	3,42 ± 0,09	2,65 ± 0,13	4,18 ± 0,14	13,94 ± 3,40	6,53 ± 0,08
Queda de Fruto	3,48 ± 0,03	2,94 ± 0,11	4,26 ± 0,08	14,43 ± 3,25	5,47 ± 0,41
Formação dos frutos + Maturação dos frutos	3,34 ± 0,06	2,73 ± 0,04	4,19 ± 0,09	14,05 ± 4,38	5,23 ± 0,38
Média	3,41 ± 0,06	2,75 ± 0,10	4,17 ± 0,10	13,85 ± 3,53	5,84 ± 0,91

5.2 BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA

Os valores médios diários dos componentes do balanço de radiação estão dispostos na figura 7. Logo é possível observar que a radiação solar global (R_g) apresenta oscilações durante todo o período experimental, com destaque ao período chuvoso (entre janeiro e abril), que proporcionou oscilações intensas devido a elevada concentração de nuvens, mesmo sem de fato de resultado em precipitação. Fato importante pois segundo Souza et al. (2018) a concentração de nuvens e a ocorrência de chuvas reduzem consideravelmente o saldo de radiação, diminuindo a energia utilizada pelos processos biofísicos. Os menores valores de R_g , foram verificados entre meses de junho e julho, com oscilações entre 12 e 20 MJ m^{-2} . Já os valores máximos ocorreram entre outubro e fevereiro. Esse comportamento durante o ano, possui estreita relação com a intensidade de radiação devido ao ângulo de incidência dos raios solares.

O principal componente do balanço de radiação é a R_g , cuja magnitude influencia diretamente na radiação de ondas curtas refletida (R_r) e no saldo de radiação (R_n), além de seus efeitos sobre a temperatura do ar (Figura 6). Os fluxos de radiação de ondas curtas refletida (R_r), ondas longas emitida pela atmosfera (R_a) e pela superfície (R_s) apresentaram menor variabilidade do que a R_g (Figura 7), com

média de $3,65 \pm 0,10 \text{ MJ m}^{-2}$; $33,20 \pm 0,04 \text{ MJ m}^{-2}$ e $39,50 \pm 0,04 \text{ MJ m}^{-2}$, respectivamente (Tabela 4).

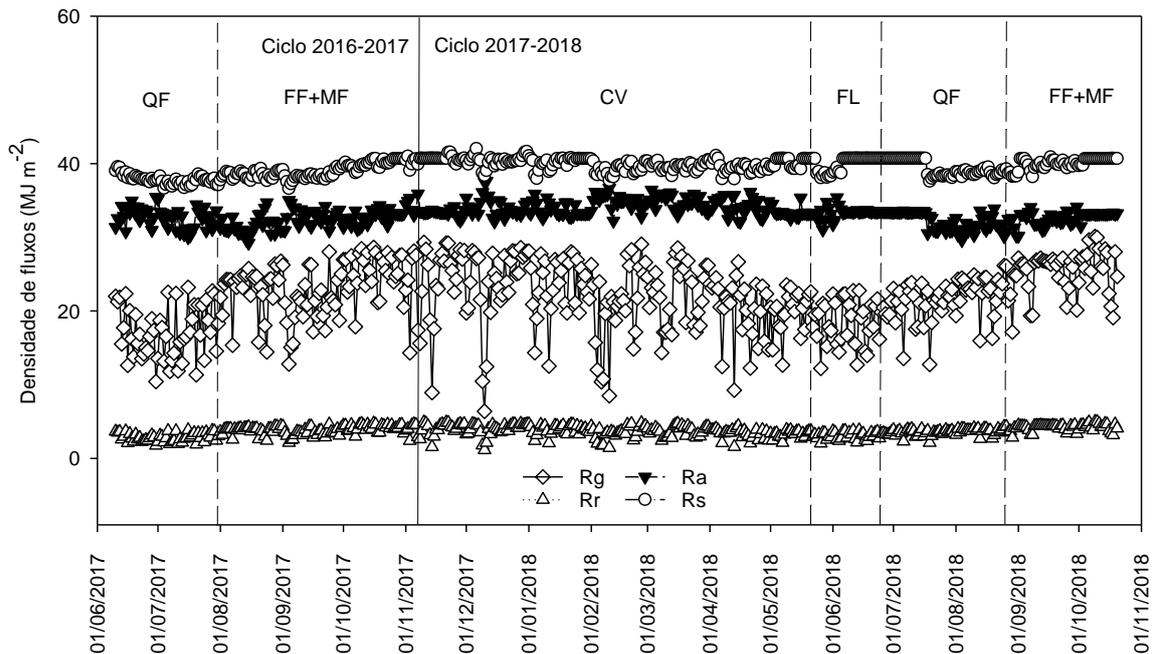


Figura 7. Variação sazonal dos componentes do balanço de radiação durante as fases fenológicas da mangueira 'Kent' irrigada, cultivada no Vale do São Francisco. CV = Crescimento vegetativo; FL = Florescimento; QF = Queda de frutos; FF + FM = Formação do fruto + Maturação do fruto; Rg = Radiação de ondas curtas emitida pela atmosfera; Ra = Radiação de ondas curtas refletida pela superfície; Rr = Radiação de ondas longas emitida pela atmosfera e Rr Radiação de ondas longas refletida pela superfície.

Na tabela 4 estão dispostas as médias dos componentes do balanço de radiação e o albedo (α) referente a cada fase fenológica analisada. Nota-se que Rg apresentou menor intensidade durante a fase de floração ($18,26 \pm 0,52$), enquanto na formação e maturação dos frutos as médias foram bem superiores. Nessa última fase, é importante que haja elevada disponibilidade de radiação para que os frutos desenvolvam qualidade (brix e acidez) compatível com as exigências do mercado consumidor, porém, vale salientar que o excesso de radiação pode prejudicar a coloração da casca da manga, principalmente nos frutos posicionados do lado oeste, exigindo que seja aplicada uma proteção física à base de cal. Assim como Rr, o albedo apresenta intensidades de reflexão semelhante a de Rg, com valores maiores durante a fase de frutificação e menores durante a floração.

Tabela 4. Componentes dos balanços de radiação (BR) e albedo (α) em um pomar irrigado de mangueira cv. Kent no Submédio do Vale São Francisco.

Fases fenológicas	Componentes do balanço de radiação (BR, MJ m ⁻² dia ⁻¹)				α (%)
	Rg	Rr	Ra	Rs	
Crescimento Vegetativo	22,07 ± 0,62	3,64 ± 0,10	34,13 ± 0,03	39,97 ± 0,04	17,13 ± 2,92
Floração	18,26 ± 0,52	3,02 ± 0,08	33,40 ± 0,03	39,96 ± 0,03	16,89 ± 1,86
Queda de Fruto	19,89 ± 0,56	3,28 ± 0,09	32,26 ± 0,04	38,62 ± 0,04	17,08 ± 2,45
Formação dos frutos + Maturação dos frutos	24,10 ± 0,66	4,20 ± 0,11	32,72 ± 0,04	39,55 ± 0,05	18,08 ± 2,74
Ciclo	21,79 ± 0,61	3,65 ± 0,10	33,20 ± 0,04	39,50 ± 0,04	17,36 ± 2,73

Valores médios seguidos do desvio padrão do Rg = Radiação de ondas curtas incidente; Rr = Radiação de ondas curtas refletida; Ra = Radiação de ondas longas incidente; Rs = Radiação de ondas longas refletida; α = Albedo.

Na Figura 8 são dispostos os totais diários do saldo de radiação (Rn) e dos fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e de calor no solo (G) no pomar de mangueira irrigado. Nota-se que para todo o período estudado, LE mostrou-se superior aos demais fluxos. Esse comportamento é normal em um cultivo irrigado, uma vez que a disponibilidade hídrica direciona a maior parte da energia disponível para o processo de evapotranspiração. A densidade de H não apresentou flutuações expressivas, oscilando entre 3,32 e 4,54 MJ m⁻² com média geral de 4,04 ± 0,15 MJ m⁻² (Tabela 5). Os valores de G apresentaram-se com menor intensidade quando comparado aos de LE e de H, com média geral de -0,38 ± 0,01 MJ m⁻². Segundo Lima et al. (2012), a conformação do dossel pode interferir diretamente na quantidade de radiação interceptada pela cultura, o que pode afetar a dinâmica do fluxo de calor no solo (G). Entretanto, em estudos realizados por Teixeira et al. (2008b) foi verificado que plantas de mangueiras com IAF superior a 5,0 m² m⁻², como no caso deste estudo, mostram-se eficiente na interceptação da radiação solar, não havendo mudanças expressivas nos valores de G. Além disso, associa-se o fato de o pomar receber irrigação em dois turnos, diariamente, reduzindo ainda mais o calor armazenado no solo.

A relação entre os valores de LE e H com Rn foram de 68% e 32%, respectivamente, mesmos valores encontrados por Souza et al. (2018) ao analisarem o balanço de energia para a mangueira 'Tommy Atkins' cultivada no

Nordeste do Pará, durante a safra 2010-2011. Silva et al. (2007), Teixeira et al. (2008 a) e Teixeira et al. (2008 b), analisando a 'Tommy Atkins' para a região do Vale do São Francisco, obtiveram relação média LE/Rn de 76,4%, 76,8% e 84,5%, respectivamente, indicando que maior quantidade de energia foi utilizada para evapotranspiração nesses estudos, o que pode ser associado a características da variedade, idade do pomar e disponibilidade de água no solo. Isso pode ser verificado na fase de crescimento vegetativo, que coincidiu com o período de chuvas, ou seja, o aumento da quantidade de água no solo, resultou em maiores valores de LE. Nesse período, a precipitação proporcionou umedecimento também das entrelinhas de cultivo, e assim, esse aumento de LE possivelmente se deveu a maior evaporação, em relação a transpiração. Em pomares de fruteiras, em que as plantas apresentam-se isoladas e a irrigação ocorre por métodos localizados, como gotejamento e microaspersão, a necessidade de água das mesmas se reduz, praticamente a transpiração, e estudos nesse sentido são realizados por meio de avaliações de fluxo de seiva.

Os dados médios dos fluxos do balanço de energia e da razão de Bowen (β) referente às fases fenológicas analisadas são descritos na tabela 5. Assim como no balanço de radiação, os maiores e menores valores dos fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e o saldo de radiação (Rn) encontraram-se nas fases de Formação + Maturação dos frutos e Floração. Embora a maior média de LE tenha ocorrido durante a formação e maturação de frutos, o maior valor da relação LE/Rn foi verificado durante o crescimento vegetativo, representando aproximadamente 71%. Isso ocorreu devido ao período chuvoso ter ocorrido nesta fase, favorecendo o processo de evapotranspiração.

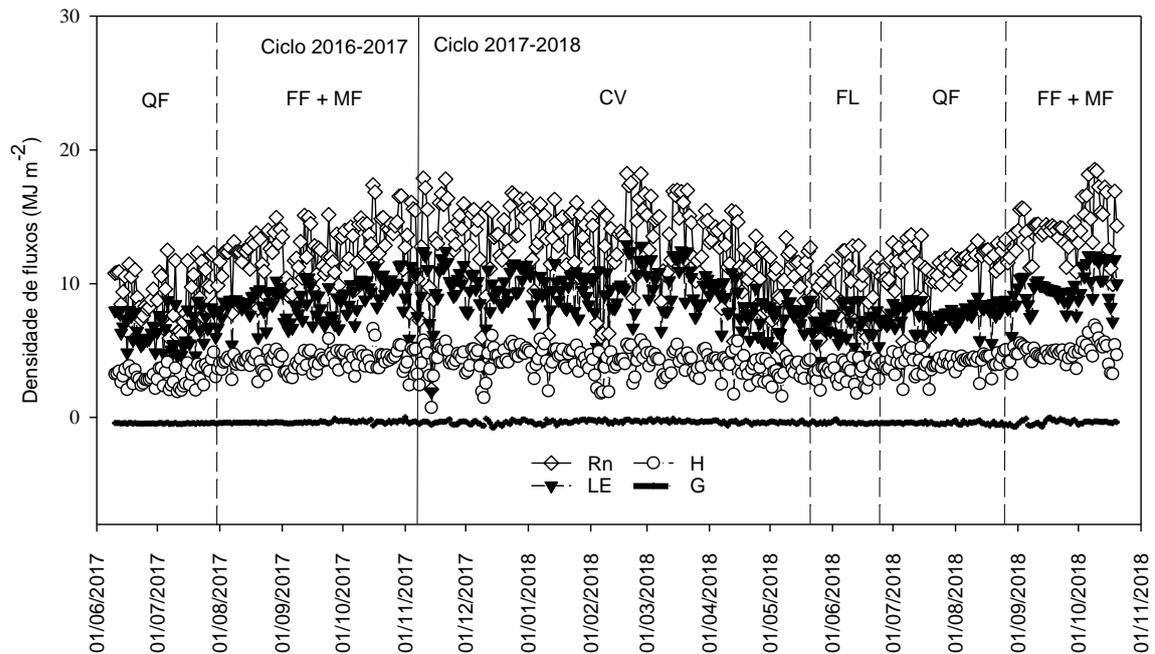


Figura 8. Balanço de energia em pomar de mangueira 'Kent' irrigada Submédio do Vale São Francisco durante os ciclos produtivos 2016/2017 e 2017/2018. CV = Crescimento vegetativo; FL = Florescimento; QF = Queda de frutos; FR = Frutificação; Rn = Saldo de radiação LE = Fluxo de calor latente; H = Fluxo de calor sensível e G = Fluxo de calor no solo.

Tabela 5. Componentes dos balanços de energia (BE) e Razão de Bowen (β) em um pomar irrigado de mangueira cv. Kent no Submédio do Vale São Francisco.

Fases fenológicas	Componentes do balanço de energia (BE, MJ m ⁻² dia ⁻¹)				β
	Rn	G	LE	H	
Crescimento Vegetativo	12,79 ± 0,48	-0,35 ± 0,01	9,04 ± 0,33	4,10 ± 0,15	0,46 ± 0,05
Floração	9,50 ± 0,41	-0,41 ± 0,01	6,59 ± 0,27	3,32 ± 0,13	0,50 ± 0,04
Queda de Fruto	10,44 ± 0,44	-0,43 ± 0,01	7,23 ± 0,29	3,64 ± 0,15	0,52 ± 0,06
Formação dos frutos + Maturação dos frutos	13,34 ± 0,51	-0,36 ± 0,01	9,17 ± 0,34	4,54 ± 0,17	0,50 ± 0,06
Ciclo	12,09 ± 0,48	-0,38 ± 0,01	8,43 ± 0,32	4,04 ± 0,15	0,49 ± 0,06

Valores médios seguidos do desvio padrão do Rn = Saldo de radiação; LE = Fluxo de calor latente; H = Fluxo de calor sensível e G = Fluxo de calor no solo; β = Razão de Bowen.

5.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA

A evapotranspiração diária da cultura da mangueira (ET_c), bem como a evapotranspiração de referência (ET_o) são apresentadas na Figura 9. Constatou-se que os valores de ET_c e ET_o, variaram entre 1,48 e 6,01 mm dia⁻¹ e de 1,47 e 8,29 mm dia⁻¹, com médias de $4,09 \pm 0,81$ mm dia⁻¹ e $5,10 \pm 1,4$ mm dia⁻¹, respectivamente. Essa diferença expressiva entre os valores de máximos e mínimos foi determinada pela disponibilidade de energia e pelos eventos de precipitação, visto que, a presença de nuvens e a saturação atmosférica afetaram os processos o comportamento dos fluxos. Exemplo também evidenciado por Souza et al. (2018). É importante notar também que o valores de ET_c e ET_o foram semelhantes para quase todo período experimental, com exceção da fase de formação e maturação dos frutos de ambos os ciclos. Isso implica dizer que durante essa fase a demanda da cultura foi menor, quando relacionada à demanda atmosférica, o que proporcionou certa diminuição nos valores de K_c (Figura 9). Estudos mais detalhados correlacionando essas variáveis com a ET_c podem explicar melhor quais parâmetros mais influenciam na ET_c da mangueira.

Azevedo et al. (2003), utilizando o balanço de água no solo e o balanço de energia com base na razão de Bowen para determinar a evapotranspiração da mangueira ‘Tommy Atkins’ obtiveram valores médios de ET_c de 4,4 mm dia⁻¹. Outros estudos encontram ET_c de 4,7 mm dia⁻¹ (LOPES et al., 2001); 3,7 mm dia⁻¹ (TEIXEIRA et al., 2008b); e, 4,3 mm dia⁻¹ (SILVA et al., 2009) para a ‘Tommy Atkins’ no Submédio do Vale São Francisco.

O coeficiente da cultura (K_c) da mangueira foi obtido pela relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) da estação meteorológica automática mais próxima da área de cultivo. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 10 e Tabela 6. A partir do comportamento sazonal do K_c (Figura 10), derivou-se um valor médio de $0,82 \pm 0,15$, variando entre 0,42 e 1,42, nas fases de frutificação e crescimento vegetativo, nessa ordem. A elevada diferença entre ET_o e ET_c durante a fase de frutificação (Figura 9) promoveram um decréscimo nos valores de K_c da cultura. Esse período do ciclo produtivo foi caracterizado por apresentar a maior quantidade de energia disponível, favorecendo um incremento nos valores de ET_o e ET_c. Entretanto, a demanda hídrica da cultura da mangueira não foi proporcional à demanda atmosférica,

possivelmente, a cultura passou por limitações que podem ter sido de ordem fisiológica em função do elevado calor e baixa umidade relativa do ar ($T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50 < UR < 60\%$, Figura 6), associadas à redução da água no solo. Similarmente, essa situação também ocorreu na fase de frutificação e maturação do ciclo 2016-2017, conforme pode ser observado nas Figuras 6 e 8. Porém, os valores do presente estudo não diferem daqueles observados na literatura. Valores médios de K_c para a mangueira 'Tommy Atkins' foram encontrados por Azevedo et al. (2003) e Teixeira et al. (2008b) correspondendo a 0,71 e 0,91, respectivamente.

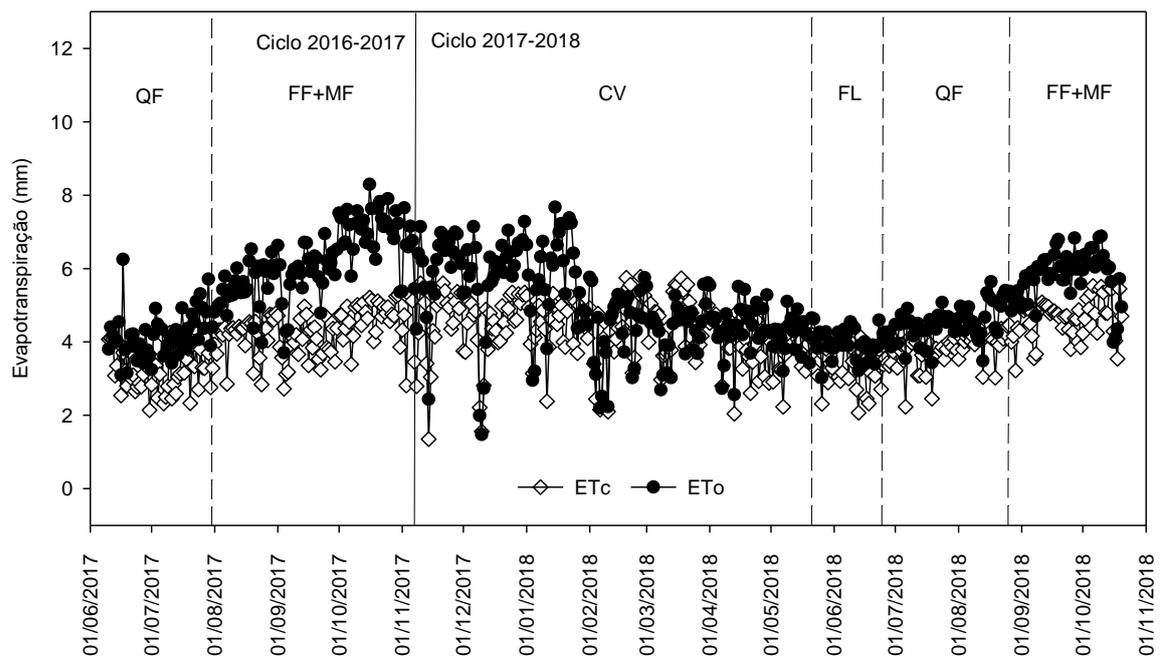


Figura 9. Evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura (ET_c) da mangueira 'Kent' irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. CV = Crescimento vegetativo; FL = Florescimento; QF = Queda de frutos; FF + MF = Formação do fruto + Maturação do fruto.

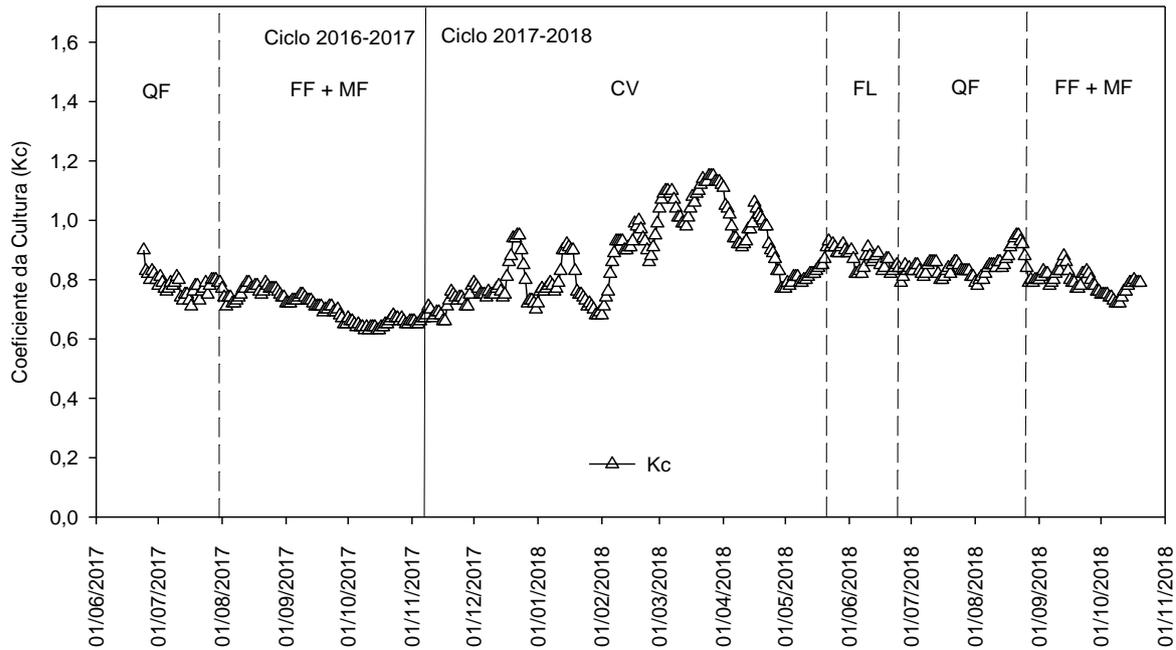


Figura 10. Coeficiente da cultura (Kc) da mangueira 'Kent' irrigada no Submédio do Vale São Francisco. CV = Crescimento vegetativo; FL = Florescimento; QF = Queda de frutos; FF+FM = Formação dos frutos + Maturação dos frutos.

Analisando essas variáveis para cada fase fenológica (Tabela 6), é possível observar que as maiores médias de E_{To} (6,12 mm) e E_{Tc} (4,45 mm) ocorreram durante a fase de formação e maturação dos frutos, indicando o período de maior consumo de água pela cultura. Entretanto, o Kc foi o menor entre todas as fases com E_{Tc} representando apenas 73% da E_{To} . Essa informação é de suma importância, pois o período de formação do fruto é considerado crítico com relação à demanda hídrica, sendo que restrições no fornecimento de água podem reduzir o peso dos frutos em até 20%, comprometendo o rendimento do cultivo (COELHO et al., 2000). As fases de crescimento vegetativo, floração e queda de frutos apresentaram valores médios de E_{To} iguais a 4,98, 3,94, e 4,52 mm; de E_{Tc} correspondente a 4,27, 3,33 e 3,63 mm; e, por conseguinte, Kc de 0,88, 0,84 e 0,81, respectivamente.

Azevedo et al. (2003) utilizando o método da razão de Bowen em cultivo de mangueira 'Tommy Atkins' na cidade de Petrolina, Pernambuco, verificaram valores de E_{Tc} durante da floração, queda de frutos e maturação dos frutos de 4,1; 4,3 e 4,5 mm, respectivamente, apresentando Kc médio de 0,71 para todo o ciclo produtivo. Enquanto Teixeira et al. (2008b) analisando dois ciclos completos nestas mesmas

condições, verificaram ETo de 3,95 e 4,27 mm; ETc de 3,83 e 3,64 mm, e Kc de 0,97 e 0,85, respectivamente.

Tabela 6. Evapotranspiração de referencia (ETo), evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficiente de cultivo (Kc) para a mangueira 'Kent' irrigada no Submédio do Vale São Francisco.

Fenologia	ETo (mm)	ETc (mm)	Kc
Crescimento Vegetativo	4,98	4,27	0,88
Floração	3,94	3,33	0,84
Queda de Fruto	4,52	3,63	0,81
Formação dos frutos + Maturação dos frutos	6,12	4,45	0,73
Média	5,10	4,08	0,82

A produtividade média do pomar foi de aproximadamente 41 toneladas por hectare, valor superior aos encontrados nas fazendas da região, servindo de subsídio para se concluir que esses valores de Kc são indicados para a produção da mangueira 'Kent' no Submédio do Vale São Francisco, utilizando-se o sistema de irrigação por microaspersão e poda de produção realizada no final da primavera.

6. CONCLUSÃO

Diante do cenário atual, onde a escassez hídrica e a expansão das áreas agrícolas são realidades, a adoção de técnicas que melhorem o manejo de água no cultivo da mangueira 'Kent' torna-se essencial, visto que esta variedade ocupa extensa área cultivada e representa papel de destaque na economia nacional por ser preferida nos mercados externos. Diante disto, o presente estudo indica que a evapotranspiração média diária da mangueira 'Kent' para as condições climáticas do Submédio do Vale São Francisco é de 4,08 mm, sendo que o período de maior necessidade de reposição hídrica compreende as fases de formação e maturação dos frutos (4,45 mm). Pequenas variações foram observadas nos valores de coeficiente de cultivo (Kc) entre as fases fenológicas, cujos valores foram 0,88, 0,84, 0,81 e 0,73, com media de 0,82 para o ciclo fenológico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, 2017.

AHRENS, C. D. **Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere**. 3. ed. Belmont: Thomson Brooks Cole, 2000. 463 p.

ÁLVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.

ANGELOCCI, L. R. et al. **Balance of coffee hedgerows**. Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 3, p. 274-281, 2008.

Anuário brasileiro de horti e fruti 2019. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2019. Disponível em: <http://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-de-horti-fruti-2019/> Acesso em: 26 de julho de 2019.

Anuário brasileiro da fruticultura 2018. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2018. Disponível em : www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-da-fruticultura/. Acesso em: 26 de julho de 2019.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. **Water requirements of irrigated mango orchards in Northeast Brazil**. Amsterdam: Agricultural Water Management, v.58, n.1, p. 241-254. 2003.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: Princípios e aplicações**. Guaíba : agrolivros, 2017. 352 p.

BORGES, C.J.R. et al. **Influência do calor armazenado no sistema solo-planta no balanço de energia em pomar de mangueiras**. Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 4, p. 393-399, 2008.

BOWEN, I. S. **The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface.** Physical review, v. 27, n. 6, p. 779, 1926.

CALDAS, A. V. C. **Produção e qualidade de manga sob adubação nitrogenada e potássica no Vale do Açu.** 2009. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2009.

CALZADILLA, A., REHDANZ, K.; TOL, R. S. J. **The economic impact of more sustainable water use in agriculture: A computable general equilibrium analysis.** Journal of Hydrology, n.384, p.292-305, 2010.

CAMPECHE, L. F. S. M. et al. **Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração.** Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, p. 519-525, 2011.

CAMPOS, J. H. B. C. et al. **Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação.** Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 2, p. 150-156, 2008.

COELHO E. F. et al. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais.** Cruz das Almas, BA, Embrapa Mandioca e Fruticultura. 48 p, 2000. (Embrapa Circular Técnica, 40).

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; VALE SANTANA, J. **Resposta da mangueira Tommy Atkins a irrigação em condições semi-áridas.** Viçosa: Ceres, v. 55, p. 15-20, 2008.

COTRIM, C. E. et al. **Irrigação com déficit controlado e produtividade de mangueira ‘Tommy Atkins’ sob gotejamento.** Fortaleza: Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 11, p. 22-29, 2017.

DIAS, V. R. M. et al. **Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa interceptada e a formação de matéria seca de frutos de manga.** Goiânia: Centro Científico Conhecer, Enciclopédia biosfera, v. 7, n. 12, 2011

ESPÍNOLA SOBRINHO, J. et al. **Effect of air temperature on mango tree yield and fruit quality.** Recife-PE: Acta Horticulturae, v. 1, n. 645, p. 189-194, 2004.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, E. J. **Accuracy of the Bowen ratio-energy balance method for measuring latent heat flux in a semiarid advective environment.** New York: Irrigation Science, v. 25, n. 2, p. 127-140, 2007.

GOPU, B. et al. **Canopy Management in Mango (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso with reference to Growth and Physiological Characters under Ultra High Density Planting.** Madras Agricultural Journal, v. 101, p. 396-400, 2014.

IBGE, 2017. Produção agrícola municipal 2017: **Culturas temporárias e perenes.** Disponível em: www.ibge.org.br; Acesso em: 13 de junho de 2019.

LEITÃO, M. M. V. B. R., OLIVEIRA, G. M. **Influência da irrigação sobre o albedo** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 2, p. 214-218, 2000.

LIMA FILHO, J. M.; ASSIS, J. S.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, G. A. P.; CASTRO NETO, M. T., 2002. Ecofisiologia, in: Genu, P. J. C.; Pinto, C. A. Q. (Eds.), **A Cultura da Mangueira.** Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, pp. 243-257.

LIN, K. M. et al. **Estimating the bowen ratio for application in air quality models by integrating a simplified analytical expression with measurement data.** *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 55, p. 1041-1048, 2016.

MOUCO, M. A. C. **Cultivo de mangueira.** 3. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015 (Sistemas de Produção 2, versão eletrônica). Disponível em: www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmanga/index.htm Acesso em: 14 de julho de 2019.

MOURA, M. S. B. et al. **Aptidão climática damangueira frente ao clima atual e aos cenários futuros** . Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 8, p. 496-509, 2015. Número especial IV SMUD 2015.

OLIVEIRA, A. R. et al. **Cultivo da Mangueira: Sistemas de Produção**. 2 ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Versão eletrônica) Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br> Acesso em: 22 de julho de 2019.

OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B. R. **Estimativas de evapotranspiração e as conseqüências devido aos erros na determinação de saldo de radiação e efeitos advectivos**. Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, p. 343-347, 2000

PINTO, A. C. Q., PINHEIRO NETO, F., GUIMARÃES, T. G. **Estratégias do melhoramento genético da manga a visando atender a dinâmica de mercado**. Jaboticabal – SP: Revista Brasileira de Fruticultura, Volume Especial, p. 064-072, 2011

FAO, 2019. **FAO Statistics**. Disponível em <www.fao.org>. Acesso em 13 de junho de 2019

FIGUEREDO NETO, A., ALMEIDA, F. A., CAVALCANTE, I. H. **Manga maturação, colheita e conservação**. 1.ed. Juazeiro: UNIVASF, 2017. 172 p.

FERREIRA JUNIOR, R. A. et al. **Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em alagoas**. Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n.3, p. 322-328, 2014.

RAJAN, S.; KUMAR, R.; NEGI, S. S. **Variation in canopy characteristics of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars from diverse eco-geographical regions**. Society for the Advancement of Horticulture, v. 3, n. 2, p. 95-97, 2001.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. New York: John Wiley, 1983. 495 p.

SCHAFFER, B. et al. Ecophysiology, in: Litz, R.E. (Ed.), **The Mango**. 2nd ed. CABI, Wallingford, pp.170-209, 2009.

SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. 2000. 129f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campina Grande, PB, 2000.

SILVA, T. G. F. **Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no Submédio do Vale do São Francisco**. 2009. 176f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2009.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. **Surface energy fluxes and evapotranspiration of a mango orchard grown in a semiarid environment**. *Agronomy Journal*, v. 99, p. 1391- 1396, 2007.

SILVA, V. P. R. et al. **Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil**. *Scientia Horticulturae*, v. 120, p. 467-472, 2009.

SILVA, V. P. R. et al. **Métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar em condições de sequeiro**. Campina Grande: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 5, p.411-417, 2015b.

SIMÕES, W. L. et al. **Produção e respostas fisiológicas da mangueira cv. Keitt sob diferentes sistemas de irrigação no Submédio do São Francisco**. *Botucatu: Irriga* v. 23, n. 1, p. 34-43, 2018.

SIMON, J.; DE ALMEIDA, R. E. M. **Revisão sobre saldo de radiação em plantas de cobertura contínua e descontínua e perspectivas para sistemas mistos (iLPP)**. 1^a edição. Palmas-TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014. 39 p.

SOUZA, P. J. O. P.; RODRIGUES, J. C.; **Diurnal Energy Balance in a Mango Orchard in the Northeast of Pará, Brazil.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, n. 3, p. 537-546, 2018.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, N. A. **Evapotranspiração.** Campinas: FUNDAG, 2013. 323 p.

PORTELA, G. L. F. et al. **Zoneamento agroclimático da cultura da mangueira no Estado do Piauí.** Revista Brasileira de Fruticultura, v. 30, p. 1036-1039, 2008.

TEIXEIRA, A. H. C. et al. **Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil.** Journal of Hydrology, v. 362, p. 110-127, 2008a.

TEIXEIRA, A. H. C. et al. **Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, northeast Brazil.** Agricultural and Forest Meteorology, v. 148, n. 10, p. 1524-1537, 2008b.

TEIXEIRA, A. H. de C. **Informações agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 21 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 233).

UNLAND, H. E. et al. **Surface flux measurement and modeling at a semi-arid sonoran desert site.** Agricultural Forest and Meteorology. Amsterdam, v. 82, p. 119-153, 1996.

ZUAZO, et al. **Water use and fruit yield of mango (*Mangifera indica* L.) grown in a subtropical Mediterranean climate.** International Journal of Fruit Science, v. 19, n. 2, p. 136-150, 2019.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Material Suplementar 1 – MS1

Característica físico-química do solo da área experimental.

Análise Química												
Profundidade cm	C.E mS cm ⁻¹	pH	P mg dm ⁻³	K -----	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V %
		-				cmol _c dm ⁻³						
0-10	0,83	7,0	96,85	0,24	0,03	5,9	1,70	-	0,2	7,9	8,1	97,0
10-20	0,61	6,7	21,88	0,11	0,02	2,3	0,80	-	0,2	3,2	3,5	93,1
20-30	0,42	6,6	13,60	0,07	0,01	1,2	0,60	-	0,7	1,9	2,6	72,3
30-40	0,32	6,5	11,29	0,07	0,01	0,7	0,40	-	0,2	1,2	1,4	83,0
40-50	0,28	6,6	15,97	0,07	0,01	0,8	0,40	-	0,7	1,3	2,0	64,0
50-60	0,28	6,5	15,11	0,07	0,01	0,8	0,30	-	0,2	1,2	1,4	83,1
60-70	0,37	6,5	16,55	0,07	0,01	0,8	0,40	-	1,0	1,3	2,2	57,0

Análise Física						
Profundidade cm	Densidade		Porosidade	Granulometria		
	Solo kg dm ⁻³	Partícula	Total %	Areia total	Silte g kg ⁻¹	Argila
0-10	1,41	2,55	44,83	927,0	65,3	7,7
10-20	1,45	2,64	45,01	931,1	47,1	21,9
20-30	1,47	2,64	44,43	893,4	23,0	83,6
30-40	1,49	2,65	43,70	917,1	48,4	34,5
40-50	1,49	2,63	43,14	952,8	33,3	13,9
50-60	1,50	2,66	43,44	936,9	53,6	9,5
60-70	1,47	2,62	43,90	930,8	68,2	1,0

Material Suplementar 2 – MS2

Dados ambientais mensais

Meses	Tar (°C)			UR (%)	DPV (kPa)	Vv (ms ⁻¹)	Us_0,40	Us_0,70	P*
	media	máxima	mínima				m	m	
Janeiro	27,63	36,24	20,81	62,57	1,56	1,96	0,0948	0,0533	8,40
Fevereiro	26,32	34,69	20,38	70,95	1,01	1,45	0,1244	0,0633	23,30
Marco	27,13	35,48	20,74	70,76	1,24	1,36	0,0955	0,0563	30,50
Abril	26,37	35,59	20,01	66,97	1,25	1,84	0,0822	0,0486	14,90
Mai	25,73	34,58	17,39	66,75	1,22	2,16	0,0761	0,0472	0,70
Junho	24,77	33,77	17,08	69,71	1,04	2,21	0,0760	0,0472	2,08
Julho	23,77	31,48	15,08	68,41	0,99	2,42	0,1246	0,0634	0,45
Agosto	24,89	34,02	17,55	63,29	1,25	2,25	0,1262	0,0719	4,83
Setembro	25,58	36,52	17,97	64,93	1,26	2,60	0,1121	0,0672	0,40
Outubro	27,23	35,52	20,03	61,25	1,51	2,50	0,1394	0,0736	3,72
Novembro	28,02	36,78	20,89	61,00	1,60	2,19	0,1146	0,0607	0,78
Dezembro	28,24	36,89	21,79	59,53	1,67	1,97	0,1189	0,0634	7,00
Ano	25,99	36,89	15,08	65,49	1,27	2,17	0,1086	0,0608	97,07

Tar = temperatura do ar; UR = umidade relativa do ar; DPV = déficit de pressão de vapor; Vv = velocidade do vento; Us_0,40 m = umidade do solo a 0,40 m de profundidade; Us_0,70 m = umidade do solo a 0,70 m de profundidade; P = precipitação. * se refere a soma mensal.

Material Suplementar 3 – MS3

Balanco de radiação

Meses	Rg	Rr	Ra	Rs	Albedo
	(MJ m ⁻²)				(%)
Janeiro	23,47	3,94	33,71	40,21	16,79
Fevereiro	20,80	3,29	34,89	39,27	15,80
Marco	22,28	3,51	34,79	39,65	15,76
Abril	20,16	3,26	34,21	39,49	16,15
Mai	19,23	3,14	33,30	39,79	16,33
Junho	17,90	2,95	33,37	39,54	16,50
Julho	18,94	3,13	32,44	38,59	16,52
Agosto	22,80	3,78	31,55	38,63	16,56
Setembro	23,19	3,99	32,66	39,14	17,22
Outubro	25,65	4,55	32,89	40,27	17,75
Novembro	23,82	4,15	33,63	40,61	17,42
Dezembro	23,62	4,09	34,16	40,40	17,32
Ano	21,79	3,65	33,20	39,50	16,77

Rg = radiação solar incidente; Rr = radiação solar refletida; Ra = radiação de ondas longas emitida pela atmosfera; Rs = radiação de ondas longas emitida pela superfície

Material Suplementar 4 – MS4

Balanço de energia

Meses	Rn	G (MJ m ⁻²)	LE	H	β (-)
Janeiro	13,33	-0,35	9,31	4,38	0,47
Fevereiro	13,13	-0,29	9,38	4,04	0,44
Marco	13,79	-0,28	9,95	4,12	0,43
Abril	11,62	-0,37	8,14	3,86	0,47
Maio	10,22	-0,39	7,17	3,44	0,48
Junho	9,40	-0,43	6,62	3,21	0,49
Julho	9,99	-0,44	6,89	3,53	0,53
Agosto	11,95	-0,43	8,20	4,19	0,54
Setembro	12,78	-0,35	8,70	4,44	0,51
Outubro	14,36	-0,34	9,94	4,76	0,49
Novembro	13,22	-0,36	9,39	4,19	0,47
Dezembro	13,30	-0,40	9,30	4,41	0,48
Ano	12,09	-0,38	8,43	4,04	0,49

Rn = saldo de radiação a superfície; G = calor armazenado no solo; LE = fluxo de calor latente; H = fluxo de calor no solo; β = razão de Bowen.

Material Suplementar 5 – MS5

Evapotranspiração e coeficiente de cultura

Meses	ETc (mm dia ⁻¹)	ETo	Kc (-)
Janeiro	4,47	5,70	0,81
Fevereiro	4,25	4,33	0,99
Marco	4,54	4,37	1,05
Abril	3,87	4,44	0,88
Maio	3,59	4,13	0,87
Junho	3,31	3,98	0,83
Julho	3,45	4,35	0,79
Agosto	4,11	5,16	0,80
Setembro	4,27	5,87	0,73
Outubro	4,76	6,61	0,73
Novembro	4,51	6,15	0,73
Dezembro	4,40	5,74	0,79
Ano	4,08	5,10	0,82

ETc = evapotranspiração atual; ETo = evapotranspiração de referência; Kc = coeficiente da cultura.