



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

FRANCISCO BENTO DA SILVA JUNIOR

**DEMANDA HÍDRICA E PARTIÇÃO DA ENERGIA NA CULTURA DA
MANGUEIRA 'PALMER' NO VALE DO SÃO FRANCISCO**

JUAZEIRO – BA

2022

FRANCISCO BENTO DA SILVA JUNIOR

**DEMANDA HÍDRICA E PARTIÇÃO DA ENERGIA NA CULTURA DA
MANGUEIRA 'PALMER' NO VALE DO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador (a): Profa. Dra. Magna Soelma Beserra de Moura

JUAZEIRO – BA

2022

S586p Silva Junior, Francisco Bento da
Demanda hídrica e partição da energia na cultura da mangueira 'Palmer' no vale do
São Francisco / Francisco Bento da Silva Junior. - Juazeiro-BA, 2022.
xvii, 95 f.: il.; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do
São Francisco, Campus Juazeiro, 2022.

Orientador a: Prof.(a) Dra. Magna Soelma Beserra de Moura.

1. Manga - cultivo. I. Título. II. Moura, Magna Soelma Beserra de. III. Universidade
Federal do Vale do São Francisco.

CDD 634.44

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

Francisco Bento da Silva Junior

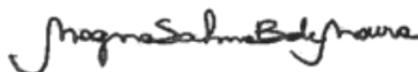
**DEMANDA HÍDRICA E PARTIÇÃO DA ENERGIA NA CULTURA DA MANGUEIRA
‘PALMER’ NO VALE DO SÃO FRANCISCO**

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.

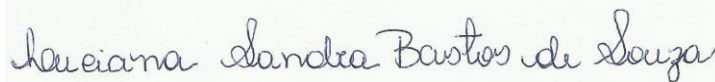
Banca Examinadora



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



Magna Soelma Beserra de Moura, Profa. Dra.
(PPGEA/UNIVASF/EMBRAPA SEMIÁRIDO)



Luciana Sandra Bastos de Souza, Profa. Dra.
(UAST/UFRPE)

Juazeiro-BA, 19 de agosto de 2022.

Aos meus pais, Francisco Bento da Silva
(*In memoriam*) e Maria Alves Cabral. E a
todos os amigos e colegas que
colaboraram nessa caminhada até aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser a luz no meu caminho, me dando força e discernimento para seguir em frente e alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Francisco Bento (*In memoriam*) e Maria Cabral, pois com muito esforço e trabalho me inspiraram e contribuíram para a minha formação.

À Professora Dra. Magna Moura, minha orientadora, pela disposição em contribuir academicamente ao longo do mestrado, pelas orientações, correções e, principalmente, pela sua paciência e auxílio.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, pela oportunidade de realização do mestrado e pelo ambiente intelectual e acessível proporcionado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA e aos seus professores, pela paciência, dedicação e pelo conhecimento construído ao longo do tempo.

À Embrapa Semiárido, pela colaboração e disponibilização de infraestrutura para o desenvolvimento desta pesquisa, em particular aos colegas do Setor de Agrometeorologia. Em nome de Joabe Santos de Almeida, agradeço a todos os colegas do setor pelo apoio na coleta de dados em campo.

À Fazenda Andorinhas, pela área cedida para este estudo e pelas informações sobre o sistema de plantio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio concedido à realização deste trabalho.

“O conhecimento é em si mesmo um poder.”

Francis Bacon (1561-1626)

RESUMO

A cultivar 'Palmer' representa uma parcela muito expressiva das áreas de produção de manga na região do Submédio do Vale do Rio São Francisco. Pouco se sabe sobre a variação dos fluxos de energia e até mesmo sobre a evapotranspiração da cultura para esta cultivar. Neste trabalho, investigou-se o comportamento dos componentes do balanço de energia e o consumo hídrico durante dois ciclos produtivos da mangueira 'Palmer', irrigada sob as condições edafoclimáticas do Submédio do Vale do São Francisco. Dois ciclos produtivos foram conduzidos no período de julho de 2019 e maio de 2021 em um pomar comercial da manga 'Palmer', no município de Petrolina-PE. Dados micrometeorológicos foram coletados para todo o período experimental. O particionamento do balanço energético (R_n) nos fluxos de calor sensível (H), fluxo de calor no solo (G), fluxo de calor latente (LE) e a evapotranspiração (ET_c) foi obtido a partir da metodologia do Balanço de Energia com base na Razão de Bowen (BERB). Adicionalmente, foi realizado o acompanhamento dos estágios fenológicos, do índice de área foliar (IAF) e produtividade da cultura, a determinação do requerimento hídrico e da produtividade de água da cultura (PAC, $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$). O fluxo de calor latente (LE) representou um percentual expressivo do R_n , com cerca de 72,4%. Neste caso, a ET_c mostrou maiores valores na fase de Indução Floral ($5,14\ mm\ dia^{-1}$), com K_c de 0,85, ao tempo em que foi menor na fase de Maturação de Frutos ($3,60\ mm\ dia^{-1}$), com K_c de 0,91, sendo o consumo médio de água para os ciclos de $1445\ mm$, com uma média diária de $4,39\ mm\ dia^{-1}$. A PAC média foi de $24,5\ kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$. Estes achados elucidam coeficientes técnicos científicos que contribuem para o sistema de produção da mangueira, com possibilidades de melhorias no manejo e sustentabilidade do uso da água.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L. Balanço de Energia. Evapotranspiração.

ABSTRACT

The cultivar 'Palmer' represents a very expressive portion of the mango production areas in the Sub-medium region of the São Francisco River Valley. Little is known about the variation of energy fluxes and even crop evapotranspiration for this cultivar. In this work, we investigated the behavior of the energy balance components at the surface, environmental conditions and water relations, during two cycles of cv. 'Palmer' in the Sub-medium of the São Francisco River Valley. Two production cycles were conducted between June 2019 and May 2021, in a commercial mango 'Palmer' orchard, in the municipality of Petrolina, PE. Micrometeorological data were collected for the entire experimental period. The partitioning of the energy balance (R_n) into sensible heat fluxes (H), soil heat flux (G), latent heat flux (LE) and evapotranspiration (ETc) were obtained from the Energy Balance methodology with based on the Bowen Ratio (BERB). Additionally, the monitoring of the phenological stages, the leaf area index (LAI) and productivity of the crop was carried out, as well as the determination of the water requirement and the water productivity of the crop (PAC, $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$). The latent heat flux (LE) represented an expressive percentage of R_n , with about 72,4%. In this case, ETc showed higher values in the Floral Induction phase ($5,14 \text{ mm day}^{-1}$), with Kc of 0,85, while it was lower in the Fruit Maturation phase ($3,60 \text{ mm day}^{-1}$), with a Kc of 0,91, and the average water consumption for the cycles was 1444 mm, with a daily average of $4,33 \text{ mm day}^{-1}$. The mean CAP was $24,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$. These findings help to elucidate scientific technical coefficients that help in the hose production system, with possibilities for improvements in management, sustainability of water use.

Keywords: *Mangifera indica* L. Energy Balance. Evapotranspiration.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Condições necessárias na instalação de sensores micrometeorológicos para a medição de gradientes verticais aplicados na equação da Razão de Bowen (β), em superfície vegetada 33
- Figura 2.** Localização do pomar de mangueira cv. Palmer, em Petrolina-PE 40
- Figura 3.** Dados climáticos correspondentes ao período de 1975 a 2015, da Estação Agrometeorológica de Bebedouro (Petrolina-PE, 09°09'S 40°22'W), para temperatura do ar (Tmax, máxima e Tmin, mínima), precipitação (P) e o balanço hídrico (P – ETo) 41
- Figura 4.** Variáveis ambientais observadas em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE, considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos 43
- Figura 5.** Estágios fenológicos avaliados em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE: (a) Crescimento Vegetativo; (b) Repouso Vegetativo e Maturação dos ramos; (c) Indução Floral; (d) Floração; (e) Desenvolvimento de Frutos; e (f) Maturação de Frutos 45
- Figura 6.** (a) Torre micrometeorológica equipada com sensores e sistema de aquisição de dados para monitoramento dos elementos microclimáticos em pomar de mangueira 'Palmer', em Petrolina, PE. Em destaque, (a) os psicrômetros em dois níveis acima da cultura, (b) saldo radiômetro, (c) termômetro ao infravermelho, (d) datalogger, (e) pluviômetro e (f) anemômetro 48
- Figura 7.** (a) Variação da radiação solar extraterrestre (Q_0), radiação solar global (R_g) e (b) coeficiente de transmissividade atmosférica (K_t) em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE 58
- Figura 8.** (a) Variação sazonal dos componentes do balanço de radiação e (b) do albedo, em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE, considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de

Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos 60

Figura 9. (a) Relação entre valores do fluxo de calor latente (LE), a cada 10 minutos, obtidos pelo método tradicional da Razão de Bowen e pelo método de Lin et al. (2016) e (b) entre os valores de saldo de radiação à superfície, medidos na torre micrometeorológica instalada em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE 65

Figura 10. Balanço de energia em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE, considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos 66

Figura 11. Padrões diurnos dos componentes do balanço de energia para dias com condições de nebulosidade variável, em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, em Petrolina-PE 68

Figura 12. Acúmulo hídrico das lâminas de Precipitação (P), Irrigação (I), Precipitação + Irrigação (P+I), Evapotranspiração de Referência (ET_o) e Evapotranspiração da Cultura (ET_c), em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE, considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos 71

Figura 13. Evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura (ET_c) da mangueira cv. 'Palmer', cultivada sob irrigação, em Petrolina-PE, durante os ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos 73

Figura 14. Relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e as variáveis meteorológicas em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE 75

Figura 15. Coeficiente da cultura (K_c) da mangueira cv. 'Palmer', cultivada sob irrigação em Petrolina-PE, durante os ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo

II), considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrições morfológicas de cada fase fenológica da mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)	46
Tabela 2. Duração dos estágios fenológicos da mangueira 'Palmer' cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE	46
Tabela 3. Sensores utilizados no monitoramento micrometeorológico da mangueira cv. Palmer, em Petrolina-PE	47
Tabela 4. Condicionais que permitem dados válidos no método BERB	52
Tabela 5. Resumo dos casos em que o método BREB falha	52
Tabela 6. Índice de área foliar (IAF) com base nos dias após a poda (DAP) em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE	56
Tabela 7. Componentes do balanço de radiação (BR) e albedo em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE	61
Tabela 8. Resumo da análise de consistência física dos dados da razão de Bowen (β) durante os ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II) da mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, em Petrolina-PE, considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos	64
Tabela 9. Componentes do balanço de energia (BE) e Razão de Bowen (β) em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE	69
Tabela 10. Evapotranspiração da cultura (ET _c), evapotranspiração de referência (ET _o) e coeficiente da cultura (K _c) da mangueira cv. 'Palmer', cultivada sob irrigação em Petrolina-PE, durante os ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II)	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
BE	Balanço de Energia
BERB	Balanço de Energia com base na Razão de Bowen
BH	Balanço Hídrico do Solo
EC	Eddy Covariance
EUA	Eficiência do Uso da Água
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PAC	Produtividade de Água da Cultura
PBZ	Paclobutrazol

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Coeficiente psicrométrico	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
Ad	Advecção	
BOC	Balanço de radiação de ondas curtas	
BOL	Balanço de radiação de ondas longas	
c_p	Calor específico do ar	$\text{kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
ETc	Evapotranspiração da cultura	mm
ETC _{10min}	Evapotranspiração da cultura média a cada 10 minutos	mm
ETo	Evapotranspiração de referência	mm
f_{tempo}	Fator de ajuste da escala de tempo	s
G	Fluxo de calor no solo	W m^{-2} , MJ m^{-2}
H	Fluxo de calor sensível	W m^{-2} , MJ m^{-2}
IAF	Índice de área foliar	$\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$
Kc	Coeficiente da cultura	adimensional
k_h	Coeficiente de transferência turbulenta de calor	adimensional
Kt	Índice de transmissividade atmosférica	adimensional
k_v	Coeficiente de transferência turbulenta de vapor d'água	adimensional
LE	Fluxo de calor latente	W m^{-2} , MJ m^{-2}
LI	Lâmina de Irrigação	mm
P	Precipitação	mm
Pa	Pressão atmosférica local	kPa
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
PROD	Produtividade do pomar	t ha^{-1} , kg ha^{-1}
Qo	Radiação solar extraterrestre	MJ m^{-2}
Ra	Radiação de ondas longas vinda atmosfera	W m^{-2} , MJ m^{-2}
Rg	Radiação solar global	W m^{-2} , MJ m^{-2}
Rn	Saldo de radiação	W m^{-2} , MJ m^{-2}
Rr	Radiação solar refletida	W m^{-2} , MJ m^{-2}
Rs	Radiação de ondas longas emitida pela superfície	W m^{-2} , MJ m^{-2}
t	Intervalo de armazenamento dos valores medidos	min
Tar	Temperatura do ar	$^{\circ}\text{C}$ ou K
T _{med}	Temperatura média diária do ar	$^{\circ}\text{C}$
Ts	Temperatura do bulbo seco	$^{\circ}\text{C}$

T_{s1}	Temperatura do bulbo seco no primeiro nível	°C
T_{s2}	Temperatura do bulbo seco no segundo nível	°C
T_{solo}	Temperatura do solo	°C
T_u	Temperatura do bulbo úmido	°C
T_{u1}	Temperatura do bulbo úmido no primeiro nível	°C
T_{u2}	Temperatura do bulbo úmido no segundo nível	°C
u_2	Velocidade média diária do vento na altura de 2 m	m s ⁻¹
UR	Umidade relativa do ar	%
US	Umidade do solo	cm ³ cm ⁻³
V	Velocidade do vento	m s ⁻¹
z	Altura de medição dos fluxos atmosféricos	m
$\partial\Delta e$	Resolução do gradiente de pressão de vapor d'água	kPa
$\partial\Delta T$	Resolução do gradiente de temperatura	°C
$\partial e/\partial z$	Gradiente de pressão de vapor d'água	kPa
$\partial T/\partial z$	Gradiente de temperatura	°C
$\partial\varepsilon$	Erro absoluto de β	
β	Razão de Bowen	adimensional
γ	Constante psicrométrica	kPa °C ⁻¹
δ	Altura da camada limite	m
Δe	Gradiente de pressão de vapor d'água	kPa
ΔT	Gradiente de temperatura	°C
λ	Calor latente de vaporização	W m ⁻²
ρ_a	Densidade do ar	kg m ⁻³

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3	REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1	IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA MANGUEIRA NO BRASIL	21
3.2	BOTÂNICA E MORFOLOGIA DA MANGUEIRA	22
3.3	EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA MANGUEIRA	25
3.4	VARIEDADE PALMER E SEUS ASPECTOS	27
3.5	BALANÇO DE ENERGIA BASEADO NA RAZÃO DE BOWEN (BERB)	28
3.5.1	Balanço de Radiação e Balanço de Energia em Superfície	29
3.5.2	Aplicação da Razão de Bowen	31
3.6	EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA DA MANGUEIRA NO SUBMÉDIO DO VALE DO RIO SÃO FRANCISCO	35
4	MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA E DO PERÍODO EXPERIMENTAL	39
4.2	FENOLOGIA E PRODUTIVIDADE DA CULTURA	44
4.3	MEDIDAS MICROMETEOROLÓGICAS	47
4.4	COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA	49
4.4.1	Balanço de Energia com base na Razão de Bowen	49
4.4.2	Análise da qualidade dos dados do método da Razão de Bowen	51
4.5	EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA	53
4.6	PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DA CULTURA	54
4.7	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1	ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E PRODUTIVIDADE DA CULTURA	56
5.2	BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA	57
5.2.1	Balanço de Radiação à Superfície	57
5.2.2	Análise da consistência física dos dados da razão de Bowen	62
5.2.3	Balanço de Energia na Superfície	66
5.3	EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA	70
6	CONCLUSÃO	79

REFERÊNCIAS	80
MATERIAL SUPLEMENTAR	88

1 INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) encontra-se atualmente entre as principais frutas produzidas pelo Brasil, contabilizando cerca de 1,5 milhão de toneladas produzidas em 2020. Sendo ainda a mais exportada pelo país, com um volume de mais de 243 mil toneladas, ela gerou uma receita de quase US\$ 247 milhões (IBGE, 2020). Aproximadamente 90% da manga exportada pelo país é produzida na região do semiárido nordestino, com destaque para o Vale do Rio São Francisco, especialmente na região do Submédio onde está localizado o polo de fruticultura de Petrolina/Pernambuco e Juazeiro/Bahia, com cerca de 30 mil hectares cultivados com manga, gerando em torno de 40% da produção nacional (IBGE, 2020; LIMA *et al.*, 2018).

No Submédio do Vale do São Francisco a precipitação é abaixo de 500 mm ano⁻¹ que, associada aos elevados índices de evapotranspiração potencial, gera um balanço hídrico negativo na maior parte do ano, tornando a irrigação um fator primordial à cultura, a fim de evitar o declínio da produção e da qualidade das mangas, especialmente em períodos críticos (MEDEIROS *et al.*, 2018; WEI *et al.*, 2017). Com a atual demanda de água na agricultura sendo alta, crescente e muitas vezes aplicada de forma ineficiente, a determinação de parâmetros de demanda hídrica, como a evapotranspiração da cultura (ET_c), faz-se necessária para o aprimoramento da irrigação, a fim de tornar o uso da água mais preciso, mantendo-se as altas produções e garantindo o desenvolvimento sustentável sob condições de disponibilidade hídrica baixa, como é o caso da região semiárida (COELHO, SANTOS & SIMÕES, 2021; ALVES *et al.*, 2017).

A contabilização dos fluxos de energia, além de permitir o entendimento da dinâmica energética na interface solo-planta-atmosfera, ao longo do ciclo produtivo, é utilizada no método de determinação do consumo hídrico das culturas, pois coloca em evidência os processos físicos e biológicos que são impulsionados pela energia disponível, como é o caso da evapotranspiração (AN *et al.*, 2017). No Submédio do Vale do São Francisco alguns autores aplicaram métodos micrometeorológicos na obtenção do particionamento de energia e consumo hídrico da cultura da mangueira (LOPES *et al.*, 2001; AZEVEDO *et al.*, 2003; TEIXEIRA *et al.*, 2008b; SILVA, 2019). Nesses trabalhos, um dos métodos mais aplicados consistia no Balanço de Energia baseado na Razão de Bowen, que se demonstrou eficiente e apresentou resultados

de consumo hídrico semelhantes aos de outras metodologias, como a do Balanço Hídrico no Solo (AZEVEDO *et al.*, 2003; BORGES *et al.*; 2007; CAMPOS *et al.*, 2008). Os estudos foram conduzidos principalmente para as variedades Tommy Atkins e Kent e destacavam valores médios de evapotranspiração da cultura variando entre 2,3 e 5,9 mm dia⁻¹, sendo o consumo mais intenso durante a fase de frutificação, para a qual obtiveram valores de coeficiente da cultura (Kc) mais elevados, próximos de 1 (LOPES *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2000; AZEVEDO *et al.*, 2003; TEIXEIRA *et al.*, 2008b; SILVA *et al.*, 2015; SILVA, 2019).

Entretanto, há alguns pontos que não são compreendidos por tais trabalhos, como por exemplo a existência de possíveis efeitos da diferença morfofisiológica entre cultivares. Considerando que até então apenas duas cultivares ('Tommy Atkins' e 'Kent') vem sendo estudadas, resta o detalhamento das variações ao longo de um ciclo de cultivo completo, já que a maior parte dos estudos são voltados para as fases fenológicas compreendidas entre a floração e a colheita, não se avaliando a fase vegetativa das plantas que compreende aproximadamente a metade da duração do ciclo produtivo. Pode-se destacar ainda as variações nos aspectos de cultivo, como espaçamento, manejo cultural, sistemas de irrigação e data de poda (que influencia no desenvolvimento das plantas, sua biomassa e índice de área foliar). Nesse sentido, a mangueira, possuindo variedades comercialmente muito importantes, com grande área plantada, como 'Tommy Atkins', 'Kent' e 'Palmer', é necessário o aprofundamento de pesquisas direcionadas a determinar o uso da água por essas variedades, com destaque para a cultivar 'Palmer' que experimenta escassez de trabalhos nessa temática, mesmo sendo a principal cultivar plantada no Submédio do Vale do São Francisco (LIMA *et al.*, 2018).

Dessa forma, considera-se que a aplicação do método do balanço de energia com base na Razão de Bowen pode possibilitar a determinação do consumo hídrico e da dinâmica energética na superfície, em um sistema de produção de manga 'Palmer', ao longo de todo o seu ciclo fenológico, diferenciando das condições para as demais cultivares e expressando assim novos parâmetros de referência para a melhoria do manejo da irrigação da cultura na região do Submédio do Vale do São Francisco.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento dos componentes do balanço de energia e o consumo hídrico durante dois ciclos produtivos da mangueira 'Palmer' irrigada sob as condições edafoclimáticas do Submédio do Vale do São Francisco.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (a) Analisar a fenologia da mangueira 'Palmer' durante dois ciclos produtivos no Submédio do Vale do São Francisco;
- (b) Caracterizar a partição do balanço de energia em um pomar de mangueira 'Palmer';
- (c) Determinar a evapotranspiração da cv. Palmer sob condições irrigadas no Submédio do Vale do São Francisco;
- (d) Recomendar valores de coeficiente de cultura para a mangueira cv. Palmer para as condições do Submédio do Vale do São Francisco;
- (e) Analisar a eficiência do uso da água e a produtividade de água da cultura da mangueira 'Palmer' Submédio do Vale do São Francisco.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA MANGUEIRA NO BRASIL

O cultivo de manga atualmente se encontra difundido em diversas regiões tropicais e subtropicais do planeta, sendo produzido em pelo menos 87 países. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o Brasil ocupa a sétima posição no ranking dos países que mais produzem manga, atrás da Índia, China, Tailândia, Indonésia, México e Paquistão. A grande produção brasileira, associada ao aumento de áreas cultivadas, com plantios tecnificados e seguindo a qualidade exigida pelo mercado mundial de frutas, torna a mangicultura um cultivo de grande importância socioeconômica para o país, impactando positivamente na geração de emprego e renda (LIMA *et al.*, 2021).

No ano de 2020, o Brasil colheu mais de 1,5 milhão de toneladas de manga, com destaque para os estados de Pernambuco (624 mil t) e Bahia (470 mil t), seguidos de São Paulo (217 mil t), Minas Gerais (91 mil t), Ceará (48 mil t) e Rio Grande do Norte (44 mil t) (IBGE, 2020). Esses elevados índices de produção possibilitaram que a manga fosse a fruta mais exportada pelo país, totalizando um volume de mais de 243 mil toneladas, com uma receita de quase US\$ 247 milhões, tendo como os principais destinos a União Europeia, que recebeu uma parte correspondente a mais de 176 mil toneladas (US\$ 178,332 milhões) e os Estados Unidos, que importou em torno de 48 mil toneladas (US\$ 46,815 milhões) (AGROSTAT/MAPA, 2021).

A região nordeste foi responsável por cerca de 92% do volume total exportado nesse período. Um valor muito representativo que se deve ao aumento de mais de 110% no volume produzido pela região entre 2004 e 2018, em virtude do aumento de aproximadamente 52% da área cultivada, com produtividade média alcançando cerca de 25 t h⁻¹. Isso trouxe bons resultados no contexto nacional, levando a um aumento de produção de 15% entre 2004 e 2019, apesar de uma redução de 3,3% da área cultivada no país, o que representa melhoria do rendimento produtivo (LIMA *et al.*, 2021).

Nesse cenário, a zona de maior destaque em mangicultura no país é o Vale do São Francisco, mais precisamente a região do Submédio onde está localizado o polo de fruticultura de Petrolina/Pernambuco e Juazeiro/Bahia, com cerca de 30 mil hectares cultivados com manga, gerando em torno de 40% da produção nacional (IBGE, 2020).

Considerando esses valores, o Submédio do Vale do São Francisco se encontra bem à frente das outras principais zonas produtoras do país, a saber, a região de Livramento e Dom Basílio na Bahia, com 12 mil hectares; Monte Alto-Taquaritinga e Valparaíso-Mirandópolis em São Paulo, com 8,5 mil hectares; e o Norte de Minas Gerais, com 7 mil hectares (LIMA *et al.*, 2018).

A cultura da manga representa o principal cultivo da região do Submédio, tendo produzido aproximadamente 632 mil toneladas em 2020, com rendimento de 50 t ha⁻¹ em Petrolina e de 25 t ha⁻¹ em Juazeiro (IBGE, 2020). A oferta de mercado na região é bastante alta e estima-se que seja ainda maior nos próximos anos, pois com a boa rentabilidade ocorre um estímulo para o aumento das áreas cultivadas, com plantios mais adensados, gerando uma produtividade muito elevada (LIMA, ALMEIDA & ARAÚJO, 2019).

3.2 BOTÂNICA E MORFOLOGIA DA MANGUEIRA

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma espécie frutífera de clima tropical, dicotiledônea, pertencente à família *Anacardiaceae*, que engloba os gêneros *Anacardium*, *Pistachio*, *Spondias* e *Mangifera*, este último contando com cerca de 60 espécies descritas, das quais a *Mangifera indica* L. é considerada a de maior importância (SANKARAN *et al.*, 2021).

Com origem no sul da Ásia, na região onde atualmente fica a Índia, a manga é valorizada como em nenhum outro lugar, ocupando cerca de 70% da área dedicada às plantações de frutas do país. Nessa região, há evidências antigas do cultivo de manga por volta de 2.000 a.C., expandindo-se para outras regiões do planeta, como no leste asiático entre 400 e 500 a.C., para as Filipinas no século XV, e no século XVI para a África e o Brasil, por meio dos exploradores portugueses (RAJAN, 2021).

Em termos morfológicos, a mangueira possui o sistema radicular axial, com uma raiz principal longa, consistente e vigorosa, e outras raízes mais abundantes superficialmente (SANKARAN *et al.*, 2021). Essa superficialidade de raízes forma uma zona que é de grande interesse agrícola, pois permite a viabilidade e eficiência na aplicação de produtos via solo, como fertilizantes (SIMÕES *et al.*, 2019), herbicidas e reguladores vegetais (ARAÚJO *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2018a).

Almeida *et al.* (2009) encontraram maior concentração de raízes de absorção (diâmetro < 10 mm) da mangueira na profundidade de até 0,4 m. A

concentração de raízes finas e muito finas permite uma maior atividade radicular nessa camada superficial do solo, o que traz melhores respostas fisiológicas para a mangueira, com efeito sobre a produção (SIMÕES *et al.*, 2018). Vale destacar que a concentração pode ser ainda mais intensa com manejos de adubação (ALMEIDA *et al.*, 2009) e devido à formação do bulbo molhado por meio da irrigação localizada (SIMÕES *et al.*, 2018).

A parte aérea da planta é caracterizada por folhas de coloração cobre, quando jovens, e esverdeadas após o desenvolvimento. Elas podem ser de diferentes formatos a depender da cultivar, uma vez que a cultura apresenta uma grande variabilidade genética, contabilizando cerca de 1.000 variedades registradas (GUERRA, 2020; SANKARAN *et al.*, 2021). Algumas mangueiras podem atingir alturas superiores a 40 metros e viver centenas de anos, necessitando, em cultivos comerciais, do manejo de crescimento e desenvolvimento da cultura para melhorar a produtividade, as condições sanitárias e possibilitar outros manejos dentro do pomar (SANKARAN *et al.*, 2021).

As podas, por exemplo, são de grande importância, pois com a mudança da conformação da copa são verificados impactos positivos sobre os frutos (peso, comprimento, composição da polpa, acidez, etc.); as inflorescências (número de panículas e de flores hermafroditas); a relação carbono/nitrogênio (C/N); os teores de clorofila; as medidas biométricas (altura, diâmetro e índice de área foliar) e a interceptação de luz (GOPU *et al.*, 2014; ESPÍNOLA SOBRINHO, 2004). Além disso, considerando a adoção de espaçamentos menores entre plantas, cada vez mais frequentes na mangicultura, a adequação com a copa é essencial para o pleno desenvolvimento da planta, pois o adensamento pode acarretar problemas de compactação dos ramos laterais, prejuízos no desenvolvimento, redução no comprimento das panículas, no número de frutos e, conseqüentemente, na produtividade (SOUSA, 2008).

O sistema reprodutivo da mangueira dá-se por inflorescências temporárias do tipo panícula, com formato piramidal de aproximadamente 30 cm de comprimento, tendo flores tanto hermafroditas como com sexos separados, podendo ocorrer ainda estruturas que favorecem a polinização cruzada (SANKARAN *et al.*, 2021). Para obter produções regulares ao longo do ano, realiza-se, em cultivos comerciais, a indução do florescimento, interrompendo assim o crescimento vegetativo da planta (SOUZA *et al.*, 2018a).

Atualmente, o regulador de crescimento mais amplamente utilizado é o paclobutrazol (PBZ), que regula o crescimento vegetativo da mangueira por meio da inibição da síntese de giberelinas, tendo diferentes respostas à aplicação, a depender da cultivar plantada. As cultivares 'Rosa', 'Bourbon' e 'Palmer' apresentam melhores respostas à indução floral com o PBZ na dose de $0,8 \text{ g m}^{-1}$ (metro linear de copa) (CHATZIVAGIANNIS *et al.*, 2014); para a cultivar Ubá, a dose de $1,62 \text{ g m}^{-1}$ é a ideal nas condições estudadas por Oliveira (2015), similar para a 'Tommy Atkins', cuja dose foi de $1,5 \text{ g m}^{-1}$ (COELHO *et al.*, 2014).

Em termos de época, como destacado por Souza *et al.* (2018a) para a mangueira 'Palmer', o PBZ é aplicado independentemente da época de cultivo, porém a eficiência é condicionada pelas condições ambientais, principalmente dos valores de temperatura, pois temperaturas iguais ou maiores que $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante o dia e $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante à noite estimulam o crescimento vegetativo por meio da quebra de dormência das gemas apicais. No Vale do São Francisco, máximas de apenas $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ no período diurno e $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ à noite, são observadas com mais frequência entre maio e agosto; temperaturas nessa faixa promovem a intensa floração (OLIVEIRA, 2020).

O controle do fornecimento de água à cultura também pode regular o crescimento da mangueira por meio da geração de um déficit hídrico antes da época do florescimento, para que as plantas entrem em repouso vegetativo. Como obtiveram Freitas *et al.* (2017), para a mangueira 'Ubá', o fornecimento de uma lâmina de água de apenas 50% das necessidades hídricas da planta, durante o período de cerca de 120 dias, é o ideal para a geração de um melhor florescimento e uma melhor produtividade, sendo iniciado a partir do desenvolvimento dos novos ramos foliares brotados (entre 45 e 60 dias de idade).

Após o déficit, com a vinda do florescimento, é imprescindível para a cultura um suprimento frequente de água para favorecer a maior produtividade, como visto por Teixeira *et al.* (2012), que verificaram uma maior sensibilidade da mangueira 'Palmer' ao estresse hídrico durante o período que vai da floração ao pegamento de frutos, ocorrendo uma menor produtividade conforme for maior o déficit. Essas particularidades trazem à tona a grande necessidade de estudos sobre o comportamento da cv. Palmer em cultivos irrigados.

3.3 EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA MANGUEIRA

É notável a grande implicação que a variação das condições ambientais têm sobre o crescimento, desenvolvimento e manejo da cultura da mangueira. Em questão de temperatura do ar ao longo do ciclo de cultivo, valores na faixa entre 20 e 30 °C são ideais para o bom desenvolvimento da mangueira. No crescimento vegetativo, a temperatura deve oscilar entre 20 e 29 °C (MOURA *et al.*, 2015); enquanto no florescimento a ocorrência de temperaturas inferiores a 15 °C aumentam a proporção de flores hermafroditas em panículas, e temperaturas elevadas (> 33 °C) provocam altas taxas de estenoespermocarpia, que é uma falha ou aborto do embrião sem que haja o comprometimento na fecundação, ocorrendo com grande frequência na manga 'Palmer' (CARVALHO *et al.*, 2020; SANTIAGO *et al.*, 2020). Além disso, temperaturas elevadas também prejudicam a formação do grão de pólen, reduzindo sua viabilidade em 50% (SANTIAGO *et al.*, 2020).

No Submédio do Vale do São Francisco, as condições são de clima quente e seco, com temperatura do ar, em grande parte do ano, acima de 22 °C (MEDEIROS *et al.*, 2018). Segundo Santiago *et al.* (2020), o mês de novembro apresenta maior risco à florada da cultivar 'Palmer', com a maior média mensal próxima aos 34 °C, e extremos térmicos batendo picos de mais de 37 °C. Sendo assim, é mais recorrente a estenoespermocarpia se essa época de temperaturas mais elevadas coincidir com a fase de florescimento até o desenvolvimento inicial dos frutos.

A precipitação no Submédio do Vale do São Francisco é abaixo de 500 mm anuais, com período chuvoso iniciando-se nos meses finais do ano, mas concentrando-se, principalmente, entre fevereiro e abril (MEDEIROS *et al.*, 2018). Para propiciar o cultivo de manga em condições naturais são necessários entre 750 e 1600 mm de chuva por ano, devendo haver ao menos dois meses com baixa precipitação (< 25 mm) para gerar baixa umidade no solo e levar à interrupção do crescimento vegetativo, induzindo assim ao florescimento (MOURA *et al.*, 2015). Como nota-se, a precipitação na região é muito abaixo da quantidade requerida, portanto, o sistema de produção de manga só é possibilitado em função do uso da irrigação.

Segundo Wei *et al.* (2017), a irrigação é um fator primordial à cultura da manga em regiões com ocorrência de períodos de estiagem prolongados, isso porque facilmente ocorre declínio da produção e da qualidade das mangas, mesmo sendo a

mangueira uma planta tolerante à seca. A reduzida precipitação, associada aos elevados índices de evapotranspiração potencial apresentados na região do Submédio do Vale São Francisco, provocam um balanço hídrico negativo em grande parte do ano (MOURA *et al.*, 2007), o que leva à necessidade do suprimento de água em algumas fases, como nas seis primeiras semanas da fase de frutificação quando a falta de água gera prejuízos, pois o déficit hídrico condiciona a queda de frutos na fase final, além da redução do tamanho e, conseqüentemente, da massa do fruto (WEI *et al.*, 2017; SIMÕES *et al.*, 2021).

O manejo incorreto da irrigação pode implicar ainda redução do desenvolvimento da mangueira, pois com a redução da disponibilidade hídrica do solo, diversos processos fisiológicos são impactados negativamente, interferindo no desenvolvimento da cultura; sendo possível notar isso por meio da redução do crescimento da parte aérea, do sistema radicular, da baixa produtividade e piora da qualidade dos frutos (SIMÕES *et al.*, 2018).

Outro ponto tocante ao cultivo da mangueira é a quantidade de radiação solar que incide sobre a superfície, essencial para o desempenho produtivo da cultura, pois impacta especialmente na realização da fotossíntese. Quanto maior a incidência de radiação solar dentro do dossel da cultura, maior a taxa fotossintética, a produção e o crescimento de frutos e o desenvolvimento da planta, variando conforme as condições climáticas, as cultivares e o manejo adotado, principalmente no que se refere à poda (RANJAN *et al.*, 2001; ESPÍNOLA SOBRINHO, 2003).

Na região do Submédio do Vale do São Francisco a radiação solar incidente média, ao longo do ano, é de cerca de $18,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, porém para os meses de julho e outubro os valores oscilam na faixa de $14,4$ e $20,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (TEIXEIRA, 2010). Essa elevada radiação, associada à possibilidade de irrigação, além da ocorrência de faixas ideais de temperatura em grande parte do ano, permitem o alto desempenho produtivo da manga sob as condições do Submédio (DAVENPORT, 2009).

Visando maximizar ainda mais a produção regional e nacional é imprescindível desenvolver, aprimorar e combinar técnicas de produção, a fim de manter os investimentos proporcionados pelos bons resultados produtivos. Realizando, nesse sentido, um manejo de irrigação eficiente com base nos aspectos técnicos e ambientais do local de produção.

3.4 VARIEDADE PALMER E SEUS ASPECTOS

Dentre as cultivares de importância comercial, a cultivar Palmer vem se destacando nos últimos anos, sendo destinada ao seu cultivo uma maior proporção de área produtora em todas as regiões do Brasil, evidenciando, desse modo, a importância econômica maior dessa cultivar no ciclo atual da mangicultura no país (LIMA *et al.*, 2018; RAJAN *et al.*, 2021).

Anos atrás, a área cultivada de manga na região do Vale do São Francisco era ocupada em mais de 80% pela cultivar Tommy Atkins, mas com o passar do tempo os percentuais entre as principais cultivares se tornaram mais equilibrados, sendo a 'Palmer' a cultivar mais explorada, ocupando atualmente 50% da área produzida, seguida da 'Tommy Atkins', com 30%, e a soma das cultivares 'Keitt' e 'Kent', com 20% (PALMIERI, 2018).

A 'Palmer', oriunda de parentais desconhecidos, é uma variedade originada no estado da Flórida, nos Estados Unidos, por volta do ano de 1945. Ela foi inserida no Brasil na década de 1960, em uma segunda era de entrada de novas variedades no país, marcada pelos avanços das tecnologias de produção. Dentre as outras variedades que também foram inseridas nesse mesmo período, incluem-se a 'Tommy Atkins', a 'Haden', a 'Keitt', a 'Van Dyke' e a 'Kent', todas de origem americana (MOUCO, 2010).

Esta cultivar tem um porte baixo ou intermediário, considerada semianã é cultivada em espaçamentos acima de 2 m entre plantas (SENA *et al.*, 2019). O hábito de crescimento pode ser aberto ou vertical, é monoembriônica, tendo vigor moderado e regularidade na produção, produzindo durante grande parte do ano (LIMA *et al.*, 2018). A produtividade média é de 147 a 197 frutos por planta, obtendo em média 20 t ha⁻¹ nas condições do Submédio do Vale do São Francisco (BARBOSA *et al.*, 2016), sendo observadas variações de produtividade em diferentes estudos para as mesmas condições climáticas, como 51,20 t ha⁻¹ (TORRES, 2019); de 15,59 a 30,36 t ha⁻¹ (SOUZA *et al.*, 2018a), e de 15,6 a 35,62 t ha⁻¹ (BARBOSA *et al.*, 2016).

Em relação à 'Tommy Atkins' e à 'Haden', é tardia e suscetível à antracnose, porém possui baixa vulnerabilidade ao colapso interno, distúrbio fisiológico que atinge mais facilmente às outras cultivares encontradas no Submédio do Vale do São Francisco, principalmente a 'Tommy Atkins' (SILVA *et al.*, 2019a). Os frutos são grandes e podem pesar até 900 g, são aromáticos, compridos, firmes,

completamente desprovidos de fibras; apresentam polpa amarelada e com teor de sólidos solúveis em torno de 21,6 °Bx, quando imaturos são esverdeados ou arroxeados, já quando maduros são vermelhos (MOUCO, 2010).

Fonseca *et al.* (2020) verificaram peso de 488 g, percentual de polpa de 77% e baixa quantidade de fibras; e obtiveram ainda teor de sólidos solúveis de 19,8 °Bx. Tais características tornam a cv. Palmer bem aceita para o consumo, tanto de mesa, quando de processamento, e com isso os preços dessa variedade atualmente registram, em todos os meses do ano, cotações superiores às obtidas, por exemplo, pela variedade 'Tommy Atkins' (FLORI & RESENDE, 2020). Esse comportamento vem ocorrendo ao longo dos últimos anos e faz despertar interesse, tanto de produtores na ampliação das áreas de produção, quanto no meio científico sobre diferentes aspectos, que até então eram pouco estudados, como o caso do consumo hídrico e valores de referência do coeficiente da cultura (Kc) para a agricultura irrigada.

3.5 BALANÇO DE ENERGIA BASEADO NA RAZÃO DE BOWEN (BERB)

Para a obtenção da evapotranspiração de uma cultura existem diferentes métodos, dentre eles os lisímetros, o balanço hídrico do solo e os métodos micrometeorológicos. Os últimos citados são aplicados em estimativas de processos que influenciam na interação biosfera-atmosfera, como é o caso da evapotranspiração, distinguindo-se então os métodos de Correlações Turbulentas (*eddy covariance*, em inglês, representado pela sigla EC), o método aerodinâmico, e o Balanço de Energia baseado na Razão de Bowen (BERB) (FOKEN, 2017).

O BERB se mostrou muito eficiente na realização de diversos trabalhos de determinação da demanda hídrica em superfícies vegetadas, na região do Submédio do Vale do São Francisco, como foram os casos da cana-de-açúcar (OLIVEIRA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2019); videira (TEIXEIRA *et al.*, 2008a) e mangueira (LOPES *et al.*, 2001; AZEVEDO *et al.*, 2003; BORGES *et al.*, 2007; TEIXEIRA *et al.*, 2008b; SILVA, 2019).

3.5.1 Balanço de Radiação e Balanço de Energia em Superfície

O BERB proporciona o entendimento da dinâmica energética na superfície ao longo de determinados períodos, colocando em evidência os processos físicos e biológicos que são impulsionados pela energia disponível, computada como a diferença entre o saldo de radiação (R_n) e o fluxo de calor no solo (G) (AN *et al.*, 2017).

O R_n em superfície resulta do somatório dos fluxos de radiação de ondas curtas e ondas longas. O balanço de radiação de ondas curtas (BOC) é composto pelo resultado da diferença entre a radiação solar global (R_g) e a radiação solar refletida (R_r); e o balanço de ondas longas (BOL), pela diferença entre a radiação de ondas longas proveniente da atmosfera (R_a) e a radiação de ondas longas emitida pela superfície (R_s) (AN *et al.*, 2017), como apresentado na Equação 1:

$$R_n = BOL + BOC = (R_g - R_r) + (R_a - R_s) \quad (1)$$

Pesquisas relacionadas à contabilização desses parâmetros na região do Submédio do Vale São Francisco são bastante desenvolvidas. O padrão de variação sazonal desses fluxos na região segue em função das mudanças na intensidade da radiação solar ao longo do ano, que são provocadas pela proximidade Terra-Sol e pelos efeitos da declinação solar, notando-se menores valores de ambos os fluxos durante a aproximação dos solstícios de verão e inverno para o hemisfério Sul (BERGAMASCHI & BERGONCI, 2017). Como mostrado por Bezerra *et al.* (2019), em área de mangicultura as médias mensais dos componentes do BOC são menores entre os meses de maio e junho, nas faixas de 19,15 MJ m⁻², para a R_g , e 3,10 MJ m⁻², para a R_r ; enquanto os maiores valores ocorrem entre setembro e novembro, quando se obtêm médias equivalentes a 25,30 MJ m⁻² (R_g) e 4,25 MJ m⁻² (R_r). Em relação aos componentes do BOL, ocorre proporcionalmente aos fluxos citados, com seus maiores valores associados à temperatura, sendo comumente atingidos nos meses de verão (VITALE *et al.*, 2019).

O albedo (α), que é a relação entre a radiação refletida e a que atinge a superfície, depende principalmente da época do ano associada às condições de cobertura do solo. Teixeira *et al.* (2008a) observaram tais implicações em uma área com mangueiras, onde o albedo médio foi de 16%, alcançando seus maiores valores à medida que a área foliar aumentava durante a estação chuvosa, quando as folhas

estavam alternadamente úmidas e secas devido à interceptação. A variação do albedo na área afeta a energia disponível, considerando que, a depender da superfície, a radiação refletida será diferente, modificando o BOC e, conseqüentemente, o saldo de radiação (TEIXEIRA *et al.*, 2008a).

De modo geral, os percentuais dos fluxos de radiação, levando em conta que o sol emite um total equivalente a 100%, considera-se que apenas cerca de 51% da energia fique retida na superfície, correspondendo ao valor do BOC, já que uma parte do valor total (30%) é refletida e redirecionada novamente ao espaço a partir da superfície (4%), das nuvens (20%) e da atmosfera (6%), e outra parte é absorvida pela atmosfera e pelas nuvens (19%) (AHRENS, 2016).

Em relação à radiação de ondas longas, parte desse total retido (51%) é irradiado pela superfície, em torno de 21%. Contudo, sabendo que a superfície recebe radiação de ondas curtas somente durante o dia, enquanto a radiação de ondas longas é emitida durante o dia e a noite, existe uma tendência a emitir cerca de 117% de radiação na forma de ondas longas. Desse valor emitido, apenas uma pequena parte (6%) é liberada para o espaço, o restante (111%) é absorvido pela atmosfera e pelas nuvens, só que devido ao efeito estufa, grande parte do valor retorna à superfície, cerca de 96%, implicando afirmar que a superfície recebe mais radiação de ondas longas do que radiação de ondas curtas, sendo quase o dobro. Esse último valor mais os 51% anteriores, totalizam uma quantidade de 147% (AHRENS, 2016). Em contrapartida, é perdida, a partir da atmosfera terrestre, uma grande quantidade de energia, por volta de -160%, sendo maior do que aquela recebida pela Terra. Ao longo de um período maior, através de radiação de ondas longas, a energia retida pela superfície (51%) e absorvida pela atmosfera (19%) é perdida pela superfície e pela atmosfera, fechando o balanço de radiação (AHRENS, 2016).

Observando um intervalo de tempo curto, de um dia por exemplo, e sabendo que a energia recebida pela superfície corresponde ao valor citado de 147%, e que uma parte de 117% é irradiada, têm-se um saldo de radiação (R_n) médio em torno de 30% (AHRENS, 2016). Com esse saldo, a energia é redirecionada através de fluxos, sendo a maior parte (23%) para o fluxo de calor latente (LE), que representa a evapotranspiração, justificando a importância da contabilização dos balanços de radiação e energia nas estimativas de perdas de água por superfícies vegetadas. Além do LE, ainda ocorrem outros processos de condução e convecção (7%), como o fluxo de calor sensível (H), que é destinado ao aquecimento do ar e, uma parcela

pequena, mas considerável de energia, é responsável pelo aquecimento do solo (G) (AHRENS, 2016). Dessa forma, tendo em vista todos esses processos, forma-se o que é chamado de Balanço de Energia (BE), podendo ser representado, simplificadaamente, pela Equação 2:

$$R_n = LE + H + G \quad (2)$$

Outros processos podem ser incluídos, porém irão representar apenas uma pequena fração da energia líquida disponível, são eles: o armazenamento de energia pela cultura, a energia utilizada em processos diversos, como fotossíntese e respiração, e casos em que não se têm grandes e extensas superfícies de vegetação homogênea, incluindo-se a transferência horizontal de calor por advecção (ALLEN *et al.*, 1998). Para cultivos de manga no Vale do São Francisco, o BE simplificado atende toda a partição de energia, sendo confirmada por alguns autores a irrelevância dos demais processos na contabilização (BORGES *et al.*, 2008).

3.5.2 Aplicação da Razão de Bowen

A razão de Bowen (BOWEN, 1926) é definida como uma proporção entre componentes do balanço de energia, particularmente o fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor latente (LE), conforme a Equação 3:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (3)$$

Considerando a subcamada atmosférica denominada de fluxo constante, em que as condições de estratificação atmosférica são neutras, assume-se a relação fluxo-gradiente, pela qual considera-se que as características do escoamento do ar e o transporte das suas propriedades ocorrem de forma semelhante; em outras palavras, os fluxos medidos a uma certa altura são aproximadamente iguais aos da superfície, com comportamento análogo aos fluxos moleculares e, dessa maneira, são proporcionais aos gradientes verticais das variáveis médias que controlam a transferência de momentum, calor e massa (FOKEN, 2017).

Desse modo, levando em conta a “Teoria K”, que tem por hipótese a igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor (k_h) e de vapor de água (k_v) utilizados em equações de determinação de LE (Equação 4) e H (Equação 5), é possível obter valores de β utilizando a Equação 6, na qual a proporção dos gradientes de temperatura e umidade entre duas alturas se comporta como β .

$$LE = - \frac{\rho_a c_{pa}}{\gamma} k_v \frac{\partial e}{\partial z} \quad (4)$$

$$H = - \rho_a c_{pa} k_h \frac{\partial T}{\partial z} \quad (5)$$

$$\beta = \gamma \frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (6)$$

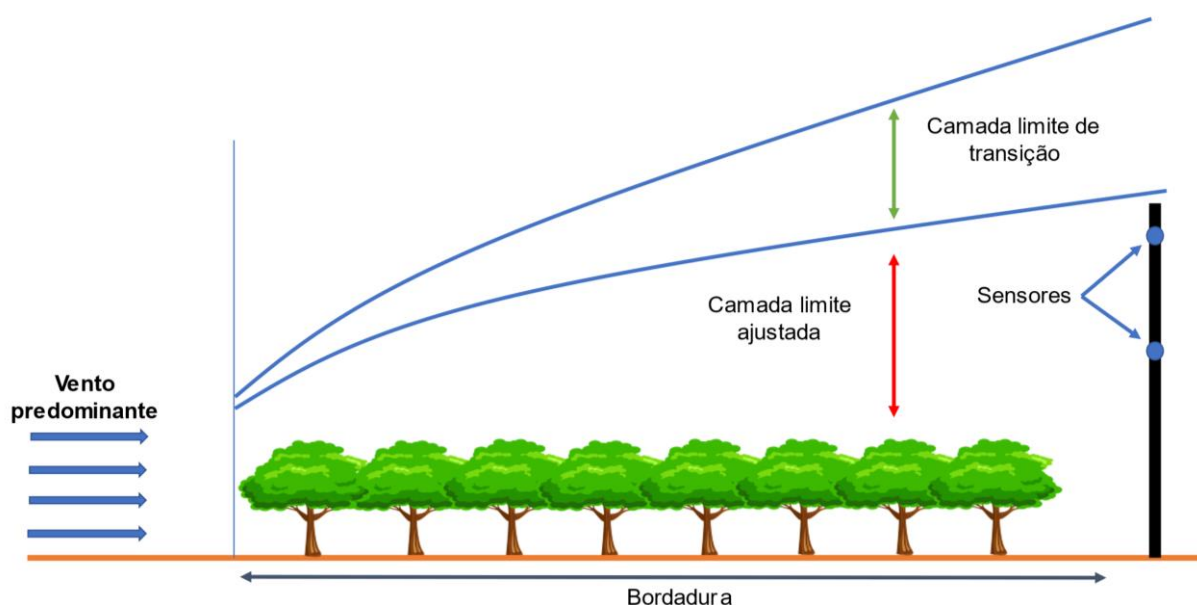
nessas equações, ρ_a = densidade do ar (kg m^{-3}); c_{pa} = calor específico do ar à pressão constante ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$); γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); k_h e k_v = coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível e latente, respectivamente (adimensionais); e, $\partial e / \partial z$, $\partial T / \partial z$ = gradientes de pressão de vapor d’água (kPa) e de temperatura ($^\circ\text{C}$), respectivamente.

Essa última equação abre a possibilidade para determinar o fluxo de energia, caso o fluxo de um gás inerte seja conhecido (levando em conta as diferenças de concentração, determinadas com alta precisão), e se as simplificações feitas acima puderem ser aceitas (FOKEN, 2017). Para se aplicar tal teoria é necessário se ater a diferentes pontos. A Figura 1 demonstra as condições necessárias para a aplicação do método da razão de Bowen em superfícies vegetadas. Primeiramente, não deve haver transporte lateral de calor por advecção, pois isso geraria desigualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta, fazendo com que o método leve a resultados contraditórios, devido aos fatores já comentados anteriormente (VERMA *et al.*, 1978). Isto acontece principalmente em estudos nos quais os sensores são instalados fora da camada limite, ajustada onde o fluxo de calor é constante (PEREZ *et al.*, 1999).

A superfície deve apresentar condições homogêneas de fontes e drenos de calor, vapor d’água e momentum, evitando uma maior complexidade do

escoamento do ar em função das mudanças, por exemplo entre vegetações, considerando que a principal zona de trocas é na parte foliar, que, a depender da cultura, apresenta-se em condições de densidades variáveis ao longo do dossel (BRUNET, 2020).

Figura 1. Condições necessárias na instalação de sensores micrometeorológicos para a medição de gradientes verticais aplicados na equação da Razão de Bowen (β), em superfície vegetada



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Problemas na confiabilidade dos valores medidos podem ser evitados com o uso de bordaduras, adotando uma distância mínima determinada a partir da relação com a camada de fluxo constante. Essa relação, quando β é baixa, é de que para cada 1 m acima da cultura são necessários 20 m de bordadura, contudo, isso pode variar de acordo com a superfície circundante (HEILMAN *et al.*, 1989).

Outros aspectos limitantes estão ligados à precisão dos instrumentos, uma vez que o erro de precisão próximo aos valores de variação de fluxos causa resultados não confiáveis; à descontinuidade de dados, à medida que β se aproxima de -1, comum aos períodos do início e final do dia em função da redução dos gradientes de temperatura e pressão de vapor de água; e ainda, à manutenção do sistema, principalmente nas medições de temperatura de bulbo úmido (PEREZ *et al.*, 1999).

Para os instrumentos usados na aplicação do método, considera-se que são necessárias medições em campo do saldo de radiação (R_n), do fluxo de calor no solo (G), e dos gradientes de temperatura (ΔT) e de pressão de vapor d'água (Δe), esses dois últimos em diferentes níveis acima da cultura (SILVA FILHO *et al.*, 2019). Com a razão de Bowen (β) calculada, ela é empregada nas equações geradas pelo fechamento do balanço de energia (BROTZGE, & CRAWFORD, 2003):

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (7)$$

$$H = \frac{\beta (R_n - G)}{1 + \beta} \quad (8)$$

Metodologias a fim de estimar, avaliar e rejeitar valores de β ou simplificar o método BERB, são desenvolvidas com foco em reduzir possíveis erros e obter fluxos de LE e H de forma precisa (PEREZ *et al.*, 1999; LIN *et al.*, 2016). Lin *et al.* (2016) propuseram modificações no método de determinação da Razão de Bowen, tornando-o mais simplificado, com o objetivo de aplicá-lo em modelos de qualidade do ar. Sabendo a influência que a Razão de Bowen possui sobre a instabilidade atmosférica, obtiveram a seguinte expressão:

$$\beta = 1,46 \left(\frac{1}{UR} \right) \left(\frac{T}{273} \right)^2 \exp \left[-19,83 \left(1 - \frac{273}{T} \right) \right] \quad (9)$$

Com ela não são necessários os dados de gradientes de temperatura (ΔT) e de pressão de vapor de água (Δe), apenas medições diretas da temperatura absoluta (T), em um único nível acima do dossel da cultura, em K; e de umidade relativa do ar (UR), em formato decimal, implicando redução de problemas relacionados à perda de dados devido ao umedecimento inadequado do bulbo úmido.

3.6 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA DA MANGUEIRA NO SUBMÉDIO DO VALE DO RIO SÃO FRANCISCO

A evapotranspiração da cultura (ET_c) é o parâmetro quantitativo para expressar a necessidade hídrica das plantas, tomando por base as saídas de água da superfície, por meio da ocorrência conjunta de dois processos de transferência de vapor d'água para a atmosfera: a evaporação de água e a transpiração vegetal (ALLEN *et al.*, 1998; ZUAZO *et al.*, 2019). Sua variação ao longo do ciclo de cultivo pode ser representada pelo coeficiente da cultura (K_c), que é um indicador do estado físico e biológico das plantas, estando diretamente relacionado à fenologia da espécie e à forma de cultivo (COELHO, SANTOS & SIMÕES, 2021; ALVES *et al.*, 2017).

Com a grande extensão em área cultivada para a fruticultura, a demanda por água fornecida pela irrigação se torna muito elevada, especialmente na região semiárida devido aos baixos índices pluviométricos e elevada demanda atmosférica, tornando mais impactante para a cultura da manga, que ocupa a maior parte dessa área (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI & FRUTI, 2020). Nesse sentido, considerando a região semiárida do Nordeste Brasileiro, é observado que a mangueira requer uma quantidade anual de água entre 1197 e 1368 mm (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2020).

Comparando as fases do ciclo da mangueira, o consumo é mais intenso na fase de crescimento dos frutos quando a ocorrência de deficiências hídricas pode afetar seriamente a produção, principalmente na fase entre a 4^a e a 6^a semana após o estabelecimento dos frutos, pois o tamanho pode ser em cerca de 20% menor quando em comparação com a cultura irrigada corretamente (COELHO, SANTOS & SIMÕES, 2021).

Estudos detalhados sobre a necessidade hídrica da mangueira para a região do Submédio do Vale do São Francisco vieram a ocorrer há pouco mais de 20 anos, quando existia um manejo de irrigação extremamente ineficiente baseado em valores adaptados do coeficiente da cultura para frutas cítricas, subdimensionando a real necessidade hídrica da manga e refletindo sobre os custos de produção, na redução da qualidade do produto e na produtividade agrícola (SILVA *et al.*, 2000). Para o K_c, os estudos ainda são mais escassos e abrangem poucos aspectos de cultivo, o que pode reduzir a eficiência da irrigação em propriedades que seguem características diferentes das estudadas, como a forma de cultivo, a idade da planta

e as variedades, dentre outros aspectos. Técnicos de campo experientes conseguem fazer adaptações no manejo de água, porém os coeficientes gerados a partir de pesquisa científica são necessários.

Os trabalhos iniciais trouxeram dados de evapotranspiração obtidos por meio do balanço de energia com base na razão de Bowen. Lopes *et al.* (2001), conduziram um trabalho no município de Petrolina-PE, entre agosto e dezembro de 1998, para a cultivar Tommy Atkins (com 6 anos de idade). Estes autores fizeram o registro durante as fases de florescimento, queda, maturação e colheita de frutos, e apresentaram valores médios de ET_c de 4,56; 5,98; 5,14 e 3,43 $mm\ dia^{-1}$, respectivamente, sendo que a fase de queda fisiológica dos frutos foi a que representou o período de maior consumo hídrico diário.

De forma semelhante, Azevedo *et al.* (2003), realizaram estudos em Petrolina-PE para a cultivar Tommy Atkins, mas de junho a novembro de 1999. Eles determinaram o consumo hídrico entre floração e maturação de frutos de 612,4 e 642,9 mm, utilizando os métodos do balanço hídrico do solo (BH) e do balanço de energia (BE), respectivamente. Estes autores relataram comportamentos diferentes entre as duas ET_c , visto que a média diária da ET_c pelo BH foi de 3,5 $mm\ dia^{-1}$, sendo 2,29; 3,19; 3,99 e 4,6 $mm\ dia^{-1}$, para floração, queda, formação e maturação de frutos, respectivamente; enquanto pelo BE foi de 4,2 $mm\ dia^{-1}$, sendo equivalentes a 3,5; 3,8; 4,5 e 4,9 $mm\ dia^{-1}$ para as mesmas fases. Essas diferenças foram ocasionadas pelas limitações consideradas no trabalho, como ausência de “fetch” (bordadura) na localização da torre micrometeorológica, afetando a similaridade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível e latente.

Ainda por Azevedo *et al.* (2000), foram obtidos os primeiros dados de coeficiente da cultura da manga para a região, os quais demonstraram variabilidade ao longo das fases estudadas, oscilando entre 0,36 e 0,86, com K_c médio equivalente a 0,71. Na fase da floração os valores foram baixos, a partir daí apresentaram um crescimento constante, atingindo os valores mais altos durante a formação de frutos, e após isso reduziram na fase de maturação (SILVA *et al.*, 2000; AZEVEDO *et al.*, 2003).

No mesmo período, outras recomendações de K_c para as condições semiáridas foram determinadas por Silva *et al.* (2000), com K_c de 0,40; 0,45 e 0,50 para o primeiro, segundo e terceiro ano de plantio, respectivamente. Nos anos de cultivo seguintes, os autores destacaram que os valores de K_c médios, ao longo das

fases fenológicas, foram de 0,65; 0,80; 0,95; 1,00 e 0,80, considerando a fase vegetativa, início da floração, a fase entre 41 e 120 dias após a floração, maturação e colheita.

Borges *et al.* (2007), também em Petrolina-PE (no período de março a agosto de 2005), em estudo com a cultivar Tommy Atkins (12 anos de idade), obtiveram valores de ETc por meio do balanço de energia com base na razão de Bowen, para a floração, queda, formação e maturação de frutos, equivalentes a 2,08, 2,25, 3,96 e 4,90 mm dia⁻¹, respectivamente, com uma média geral de 3,3 mm dia⁻¹. No mesmo ambiente e mesmo período experimental, Campos *et al.* (2008) realizaram a determinação da ETc pelo balanço hídrico do solo em quatro tratamentos de irrigação, um baseado no manejo adotado pelo produtor (controle) (com base na média semanal da evaporação do tanque classe “A”) e os outros baseados nos valores de referência do Kc da manga, sendo eles Kc – 20% (T1), Kc (T2) e Kc + 20% (T3). Assim, os autores concluíram que o manejo de água mais adequado ao cultivo da mangueira na região do Submédio era o tratamento que utilizava um incremento de 20% da curva do coeficiente de cultivo de referência. Nesse tratamento, a ETc foi de 4,1, 2,8, 4,0 e 4,7 mm dia⁻¹, para floração, queda, formação e maturação de frutos, respectivamente.

Por sua vez, Teixeira *et al.* (2008b) determinaram os parâmetros de consumo hídrico da mangueira cultivar Tommy Atkins (18 anos de idade) durante dois ciclos produtivos (entre 2003 e 2005). Os autores obtiveram ETc de 3,83 e 3,64 mm média diária para primeiro e segundo ciclo, respectivamente, utilizando o método de correlações turbulentas (Eddy Covariance, EC). Os valores de Kc obtidos por Teixeira *et al.* (2008b) foram de: 0,7, na fase fenológica de repouso; 0,8, no crescimento vegetativo; 1,0, na de maturação dos ramos; 1,0, durante a indução floral e início da floração; 0,9, ao fim da floração até o crescimento do fruto; 0,8, na fase de maturação e 0,6 na colheita.

Silva *et al.* (2015), usando os valores de Kc destacados por Silva (2000), estimaram a evapotranspiração da cultura da mangueira ‘Tommy Atkins’, com 10 anos de idade, em Petrolina – PE, com base na multiplicação do Kc pela evapotranspiração de referência (ETo), estimado pelo método de Penman-Monteith (FAO-56), durante todo o ano de 2008. Os autores chegaram a uma ETc média de 3,8 mm dia⁻¹, sendo 2,3 mm dia⁻¹ na floração, 3,0 mm dia⁻¹ na queda de frutos e 4,9 mm dia⁻¹ na maturação de frutos.

Silva (2019), em Petrolina-PE (de junho de 2017 a outubro de 2018), agora para a cultivar Kent (9 anos de idade), obteve a ETc pelo balanço de energia com base na razão de Bowen durante as fases de crescimento vegetativo, floração, queda, formação e maturação dos frutos, com valores médios correspondentes a 4,27; 3,33; 3,63 mm e 4,45 mm dia⁻¹, respectivamente, e valores de Kc de 0,88, 0,84, 0,81 e 0,71 seguindo as mesmas fases.

Nota-se que os trabalhos que buscam determinar a evapotranspiração da cultura da mangueira são comumente explorados na literatura. Contudo, são escassos os estudos direcionados a determinar a diferença entre o consumo hídrico dentro da própria espécie *M. indica* L., mesmo com a grande quantidade de variedades de manga comercialmente importantes e bem difundidas no Submédio do Vale do Rio São Francisco. Assim, encontram-se dados disponíveis apenas para as cultivares 'Tommy Atkins' e 'Kent' notando-se a falta de dados sobre a cultivar Palmer, que ainda não possui nenhum estudo sobre evapotranspiração e coeficiente de cultivo, mesmo ocupando a maior parte das áreas cultivadas com manga na região do Vale do São Francisco.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA E DO PERÍODO EXPERIMENTAL

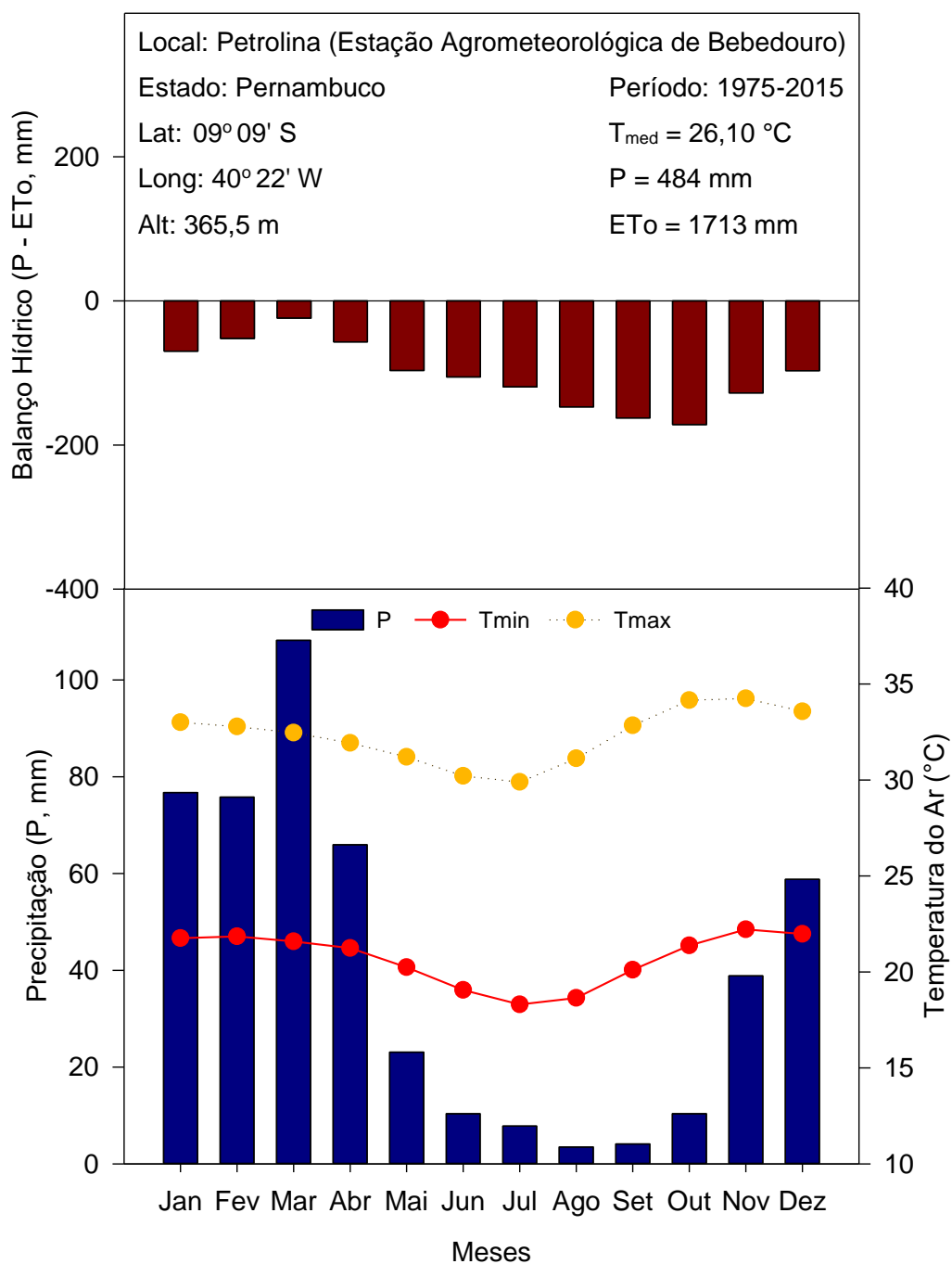
A pesquisa foi conduzida em um pomar comercial pertencente à Fazenda Andorinhas (9°27'24" S; 40°36'86" O e 380 m acima do nível médio do mar), localizada no município de Petrolina, Pernambuco (Figura 2), no Submédio do Vale do Rio São Francisco, região semiárida do Nordeste brasileiro. O clima é classificado como Bsw^h, segundo a classificação de Köppen, com período chuvoso concentrado entre os meses de janeiro e abril (ÁLVARES *et al.*, 2013).

Os dados climatológicos correspondentes ao período de 1975 a 2015 são apresentados na Figura 3. Observa-se que a quadra chuvosa ocorre entre janeiro e abril, porém destaca-se que o início das precipitações ocorre no mês de novembro, quando se registram valores da ordem de 40 mm. Os meses de maio a outubro correspondem ao período mais seco, com chuvas abaixo de 10 mm. As menores temperaturas registram-se no mês de julho ($T_{med} = 24,1$ °C), enquanto os maiores valores ocorrem no mês de novembro ($T_{med} = 28,2$ °C), resultando em uma média anual de 26,1 °C. Ao se computar o balanço entre as precipitações (P) e a evapotranspiração de referência (ET_o), pode-se observar que a região apresenta déficit hídrico em todos os meses, com balanço hídrico negativo alcançando valores próximos a -200 mm no mês de outubro.

O talhão experimental possui área de 5,08 ha cultivado com mangueira da variedade 'Palmer', enxertada sobre a 'Espada'. O plantio ocorreu em novembro de 2002, orientado no sentido Leste-Oeste, sob espaçamento de 4 m x 7 m, totalizando 357 plantas ha⁻¹. O solo é arenoso e profundo, identificado por Mouco (2008) e Souza (2018) como Neossolo Quartzarênico; cuja classe apresenta solos com pelo menos 2 m de profundidade e bem drenados. Foram realizadas análises químicas para caracterização do solo e os resultados encontram-se dispostos no Material Suplementar 1 (MS1).

O sistema de irrigação do pomar foi por microaspersão, com vazão de 21 L h⁻¹. As pressões de entrada e saída do sistema corresponderam a 4,5 kgf cm⁻² e 3,9 kgf cm⁻², respectivamente; enquanto nos microaspersores apresentaram vazão de 18 L h⁻¹ e pressão de 1,0 kgf cm⁻². A eficiência de aplicação de água correspondeu a 85%, um valor considerado aceitável para o tipo de sistema em questão (BERNARDO *et al.*, 2019).

Figura 3. Dados climáticos correspondentes ao período de 1975 a 2015, da Estação Agrometeorológica de Bebedouro (Petrolina-PE, 09°09'S 40°22'W), para temperatura do ar (Tmax, máxima e Tmin, mínima), precipitação (P) e o balanço hídrico (P – ETo)



Fonte: Embrapa Semiárido (2015)

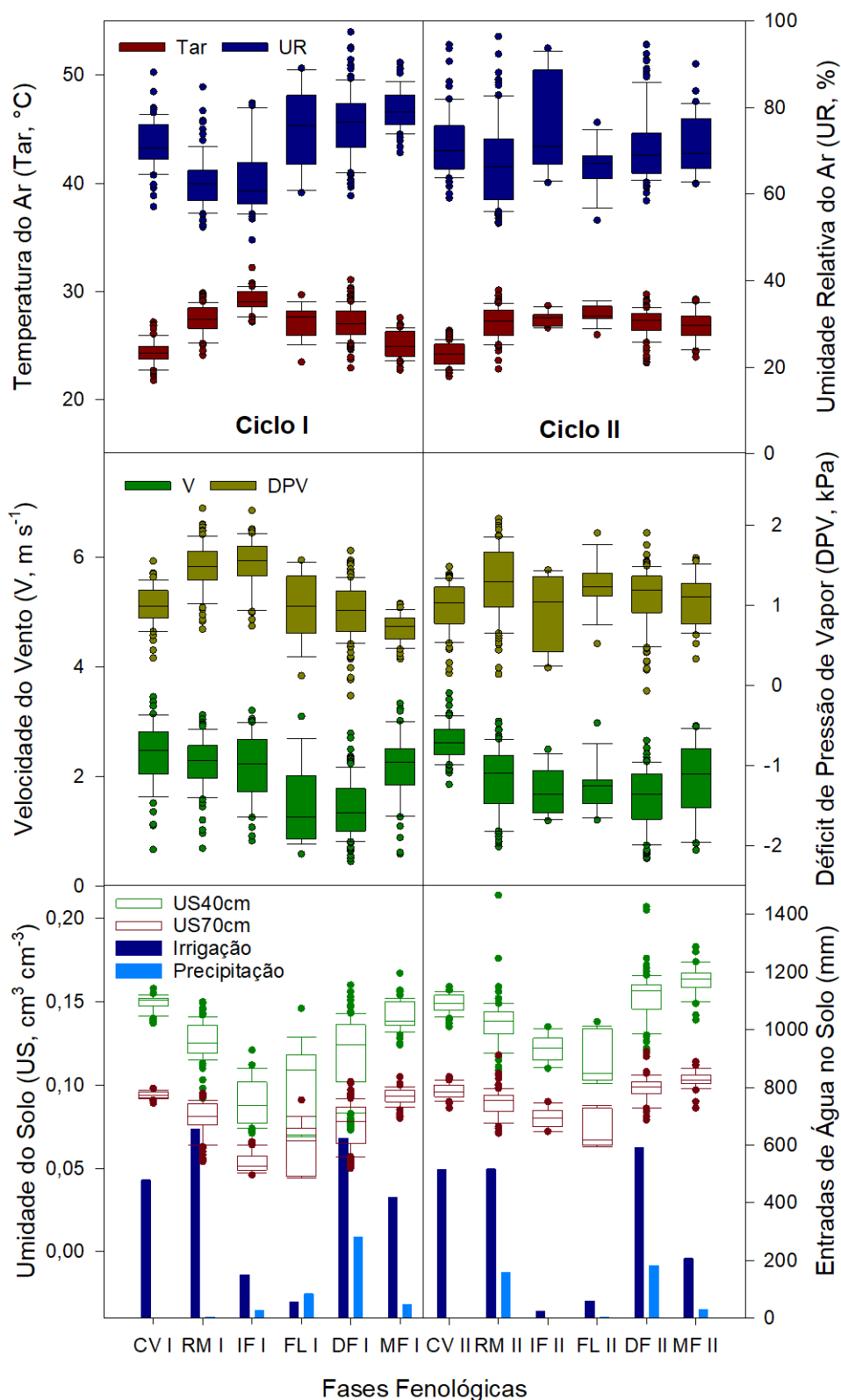
Em geral, a cultura foi irrigada todos os dias, e a irrigação foi parcelada em duas vezes, sendo uma no período da manhã, com início por volta das 09h00, e outra durante a madrugada, começando em torno de 01h00. Ajustes foram realizados em virtude das necessidades de uso da água na fazenda e de acordo com as fases

fenológicas do cultivo. As únicas exceções para não realização da irrigação consistiram na ocorrência de chuvas acima de 5 mm por dia ou eventuais problemas no sistema de irrigação. A lâmina de água aplicada (Figura 4) foi definida pelos técnicos da fazenda com base nas necessidades hídricas da cultura ao longo do ciclo de cultivo, sendo que o crescimento vegetativo e a frutificação foram as fases de maior intensificação da irrigação, com turnos de rega chegando a oito horas. Em função da necessidade de se realizar a indução floral, a mangueira demanda um período de quebra de dormência das gemas florais, para o qual a aplicação de água se reduz. Nesse caso específico, ele chegou a alcançar o tempo de até 2 horas por dia. Nessas ocasiões, a lâmina foi aplicada de uma única vez.

Na Figura 4, é possível observar o comportamento das variáveis ambientais da área de estudo, ao longo do período de avaliação. São apresentados dados médios com base nos valores registrados em cada fase fenológica, nos dois ciclos produtivos da mangueira 'Palmer' avaliados no presente estudo. No Ciclo I, a fase de Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos apresentou a menor média de umidade relativa do ar (62,9%), enquanto a fase mais úmida foi a Maturação de Frutos (79,4%). Para a temperatura do ar, os menores valores foram registrados na fase de Crescimento Vegetativo (24,3 °C), e os maiores na Indução Floral (29,2 °C). Em movimento oposto à umidade relativa do ar, o déficit de pressão de vapor atinge seus menores valores nas fases de maior UR (Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos, DPV = 1,5 kPa), enquanto os maiores coincidem com as fases de menor UR (Maturação de Frutos, DPV = 0,7 kPa). A velocidade do vento média nesse ciclo foi 2 m s⁻¹ e a precipitação acumulada foi de 455,1 mm, sendo mais recorrente na fase de Desenvolvimento de Frutos, que ocorreu entre janeiro e maio (281,8 mm). A umidade do solo variou de acordo com as entradas de água, por precipitação e irrigação, e também para as camadas de medição, sendo mais úmido na camada de 40 cm de profundidade e menos úmido na camada de 70 cm. Nos 40 cm de profundidade o valor médio foi de 0,13 ± 0,02 cm³ cm⁻³, enquanto na segunda camada, de 70 cm de profundidade, a US média foi de 0,08 ± 0,01 cm³ cm⁻³.

No Ciclo II, a Indução Floral apresentou os maiores valores de UR (76,1%), atingindo os menores valores na fase seguinte, a da Floração (66,5%). Inversamente, a temperatura atingiu as maiores temperaturas na fase de Floração (27,9 °C) e foi menor no Crescimento Vegetativo (24,3 °C). O maior DPV foi de 1,3 kPa no Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos e o menor de 0,9 kPa na Indução Floral.

Figura 4. Variáveis ambientais observadas em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE, considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Ainda no Ciclo II, a velocidade média do vento se manteve, sendo de 2 m s⁻¹, e a precipitação acumulada foi de 377,7 mm, se destacando novamente a fase de Desenvolvimento de Frutos, entre dezembro e março (181,9 mm). A US média a 40 cm de profundidade foi de $0,15 \pm 0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, enquanto na segunda camada de 70 cm, a US média foi de $0,09 \pm 0,01 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

O primeiro ciclo de avaliação (Ciclo I) teve início em 03/07/2019. Nesse ciclo não foi realizada a poda de produção, pois a fazenda realizou ajuste do manejo fitotécnico para o estabelecimento de uma nova época de colheita. Assim, considerou-se como o início do ciclo a poda de limpeza realizada após a colheita do ciclo anterior, na qual eliminaram-se apenas os restos das estruturas de inflorescências e frutificações, bem como alguns ramos. O final do Ciclo I foi em 29/06/2020, com a colheita. Após esse período ocorreu a época de repouso, seguida do início do segundo ciclo (Ciclo II) com a poda de produção em 14/07/2020, finalizando com a colheita em 04/05/2021.

Em cada ciclo, as adubações começaram a ser realizadas após aproximadamente 20 dias da colheita do ciclo anterior, com a aplicação de nitrogênio (30 kg), fósforo (20 kg) e potássio (30%). Nesse período foi que ocorreu a poda de produção. Com a emissão de novos fluxos foliares ocorreram aplicações à base de zinco e nitrogênio. O regulador de crescimento foi aplicado via solo após o desenvolvimento de dois fluxos foliares, o que levou à parada do crescimento vegetativo e ao amadurecimento dos ramos. Por via foliar, após aproximadamente 100 dias desde o início do ciclo, foram realizadas, semanalmente, aplicações à base de potássio, enxofre, boro e zinco, durante mais ou menos 40 dias. A quebra de dormência foi realizada por volta dos 140 dias de ciclo, com produtos à base de cálcio e potássio. Outras adubações vieram a ocorrer com a florada plena, com a aplicação de potássio e nitrogênio; também 20 dias antes da colheita, novamente com a aplicação de potássio. As necessidades nutricionais foram definidas pelos técnicos da fazenda, com base nas análises de solo.

4.2 FENOLOGIA E PRODUTIVIDADE DA CULTURA

O acompanhamento das fases fenológicas ao longo dos dois ciclos procedeu-se com base nas observações das características de classificação para cada fase, apresentadas na Figura 5 e descritas na Tabela 1. As durações de cada

fase fenológica para os ciclos de cultivo da mangueira 'Palmer' são apresentadas na Tabela 2.

Percebe-se que a Indução Floral é a fase que mais se diferencia entre os dois ciclos, com uma duração maior no Ciclo I do que no Ciclo II, em virtude das condições distintas no manejo adotado. Destaca-se ainda a Maturação de Frutos, que também teve maior duração no Ciclo I, sendo que além das condições de manejo, consideravam-se as condições meteorológicas predominantes ao final de cada ciclo.

Figura 5. Estágios fenológicos avaliados em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE: (a) Crescimento Vegetativo; (b) Repouso Vegetativo e Maturação dos ramos; (c) Indução Floral; (d) Floração; (e) Desenvolvimento de Frutos; e (f) Maturação de Frutos



Fonte: Imagens de Joabe Santos de Almeida

Tabela 1. Descrições morfológicas de cada fase fenológica da mangueira (*Mangifera indica* L.)

Fase Fenológica	Descrição
Crescimento vegetativo (CV)	Período que se inicia após a poda, ocorrendo intenso crescimento, com dois novos fluxos foliares se desenvolvendo.
Repouso Vegetativo e Maturação dos Ramos (RM)	Período entre a parada do crescimento vegetativo, pela aplicação do regulador vegetal, até a quebra de dormência.
Indução Floral (IF)	Desde a quebra de dormência até a completa abertura das panículas.
Floração (FL)	Panículas totalmente abertas.
Desenvolvimento de Frutos (DF)	Compreende a fase de pegamento de frutos, as quedas fisiológicas e a formação de frutos até um tamanho maior que uma “bola de bilhar” e coloração da casca verde-arroxeadada.
Maturação de Frutos (MF)	Frutos na planta em tamanho “fruto” e coloração da casca esverdeada para verde-avermelhada.

Fonte: Adaptado de Rodrigues *et al.* (2013)

Tabela 2. Duração dos estágios fenológicos da mangueira ‘Palmer’ cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE

Fase Fenológica	Ciclo I	Número de Dias	Ciclo II	Número de Dias
Repouso	-	-	30/06/2020 a 13/07/2020	14
Crescimento vegetativo	03/07/2019 a 28/08/2019	57	14/07/2020 a 12/09/2020	61
Repouso Vegetativo e Maturação dos ramos	29/08/2019 a 15/11/2019	79	13/09/2020 a 01/12/2020	80
Indução Floral	16/11/2019 a 25/12/2019	40	02/12/2020 a 12/12/2020	11
Floração	26/12/2019 a 12/01/2020	18	13/12/2020 a 27/12/2020	15
Desenvolvimento de Frutos	13/01/2020 a 01/05/2020	110	28/12/2020 a 31/03/2021	94
Maturação de Frutos	02/05/2020 a 29/06/2020	59	01/04/2021 a 04/05/2021	34
Total de dias		363		295*

*sem a contagem dos dias de repouso.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O Índice de Área Foliar (IAF, $m^2 m^{-2}$) foi determinado em alguns dias do período experimental, por meio da medida da interceptação da luz, utilizando o ceptômetro AccuPAR (LP-80, Meter Group Inc, Pullman, USA). Para isso, foram realizadas oito 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.

Para a determinação da produção e produtividade, todos os frutos de 10 plantas foram selecionados, colhidos, contados e pesados. O cômputo da produtividade foi realizado considerando o peso médio de frutos, multiplicado pela quantidade média de frutos por planta e a quantidade de plantas por hectare.

4.3 MEDIDAS MICROMETEOROLÓGICAS

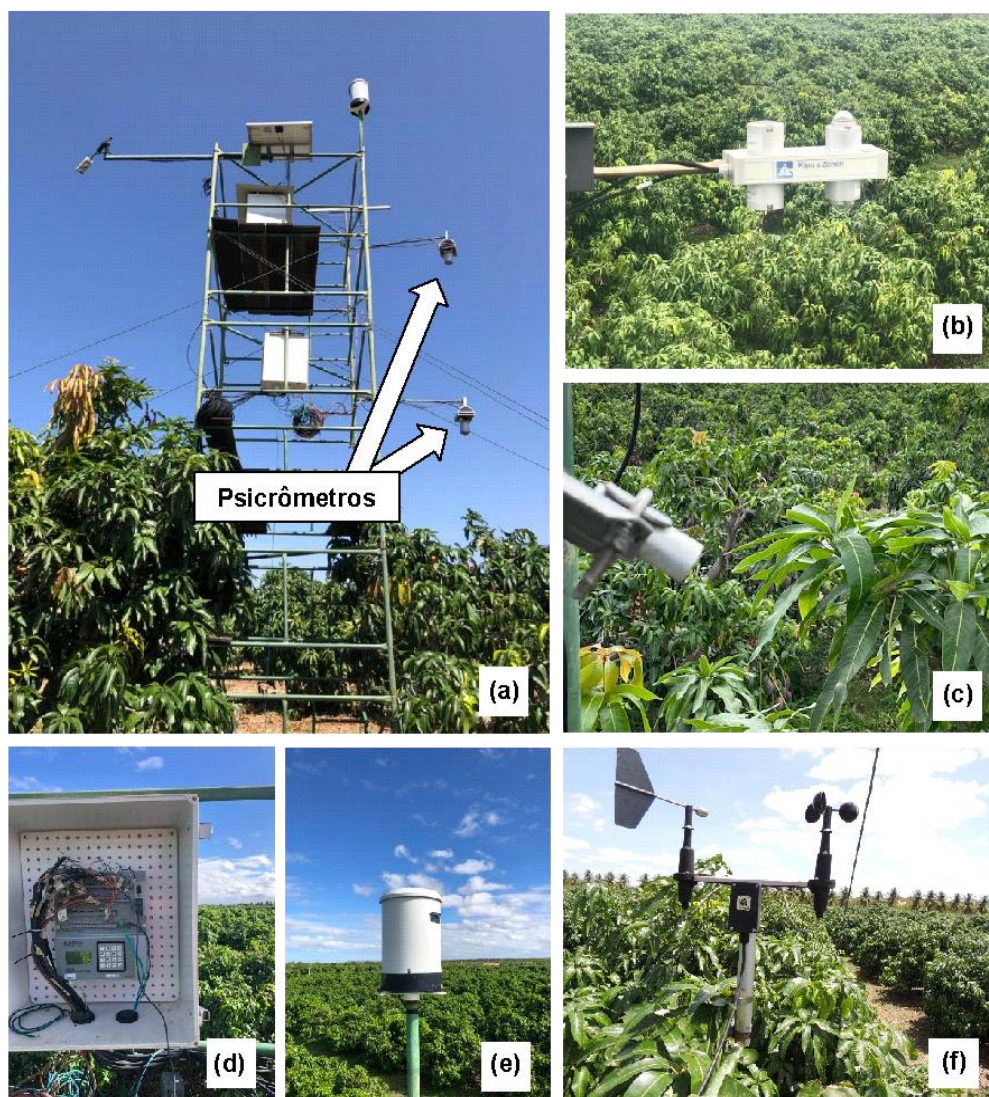
Uma torre micrometeorológica (Figura 6) de 7 m de altura foi instalada e equipada com sensores (Tabela 3) para monitorar diariamente as variáveis micrometeorológicas importantes para a metodologia do Balanço de Energia com Base na Razão de Bowen (BERB).

Tabela 3. Sensores utilizados no monitoramento micrometeorológico da mangueira cv. Palmer, em Petrolina-PE

Parâmetro	Instrumento	Modelo / Fabricante/ Local	Altura
Componentes do balanço de radiação (Rg, Rr, Ra, Rs, Rn, α , BOC e BOL)	Saldo Radiômetro	CNR1 Net radiometer, Kipp & Zonen B.V., Delft, Netherlands	7 m
Temperatura do bulbo seco e úmido (Ts e Tu)	Termopares	Tipo T, Cobre-Constantan	3,6 e 5,6 m
Fluxo de calor do solo (G)	Fluxímetro	HFT3-REBS, Campbell Scientific, Inc, Logan, Utah, USA	-0,02 m
Temperatura do solo (Tsolo)	Termistor	107 Temperature Probe, Campbell Scientific	-0,02 e -0,06 m
Temperatura ao infravermelho do dossel (Tdossel)	Termômetro ao infravermelho	SI-111 Infrared Radiometer, Campbell Scientific	3,6 m
Umidade do solo (Us)	Sensor FDR	CS615, Campbell Scientific	-0,4 e -0,7 m
Velocidade do vento (V)	Anemômetro	03002 Wind Sentry, R. M. Young Company, Traverse City, Michigan, USA	3,6 m
Precipitação (P)	Pluviômetro	CS700-L Hydrological Services Rain Gage, Liverpool, Australian	8,0 m

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 6. (a) Torre micrometeorológica equipada com sensores e sistema de aquisição de dados para monitoramento dos elementos microclimáticos em pomar de mangueira ‘Palmer’, em Petrolina, PE. Em destaque, (a) os psicrômetros em dois níveis acima da cultura, (b) saldo radiômetro, (c) termômetro ao infravermelho, (d) datalogger, (e) pluviômetro e (f) anemômetro



Fonte: Imagens de Joabe Santos de Almeida

Foram realizadas medidas da radiação solar global incidente (R_g , $W\ m^{-2}$), radiação refletida pela superfície (R_r , $W\ m^{-2}$), radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera (R_a , $W\ m^{-2}$), radiação de ondas longas emitidas pela superfície (R_s , $W\ m^{-2}$), fluxo de calor do solo (G , $W\ m^{-2}$), temperatura do bulbo seco (T_s , $^{\circ}C$) e do bulbo úmido (T_u , $^{\circ}C$). Também foram utilizados sensores para obtenção de dados auxiliares, como: temperatura do solo (T_{solo} , $^{\circ}C$), temperatura ao infravermelho do dossel da mangueira (T_{dossel} , $^{\circ}C$), umidade do solo (U_s , $cm^3\ cm^{-3}$), velocidade do vento (V , $m\ s^{-1}$) e precipitação (P , mm).

Um sistema de armazenamento e aquisição de dados, modelo CR5000 (Figura 6d), da Campbell Scientific Inc. (Logan, Utah, USA), foi utilizado para conectar todos os sensores, sendo ele programado para fazer as medidas a cada 30 segundos e armazenar médias a cada 10 minutos.

Esses dados foram processados para a contabilização diária do balanço de radiação, do balanço de energia e da evapotranspiração da cultura (ETc). Valores mensais estão dispostos nos materiais suplementares 3 (MS3), 4 (MS4), 5 (MS5) e 6 (MS6).

4.4 COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA

O balanço de energia foi obtido pela partição do saldo de radiação (R_n) em fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e calor no solo (G), como representado pela Equação 10:

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

em que, LE = fluxo de calor latente, em $W\ m^{-2}$, H = fluxo de calor sensível, em $W\ m^{-2}$, e G = fluxo de calor no solo, em $W\ m^{-2}$. Sendo R_n e G medidos em campo, os fluxos LE e H foram estimados por meio do método do balanço de energia com base na razão de Bowen.

O índice de transmissividade atmosférica (K_t), que é a relação entre R_g e a radiação solar extraterrestre (Q_0), foi computado para caracterizar as condições de nebulosidade na área de estudo, e assim, utilizado para avaliação dos componentes do balanço de energia sob diversas condições de nebulosidade.

4.4.1 Balanço de Energia com base na Razão de Bowen

Com medições de temperatura do bulbo seco (T_s) e do bulbo úmido (T_u), a partir dos psicrômetros situados em dois níveis (z_1 e z_2) acima do topo da cultura, foram obtidos valores de gradientes de temperatura (ΔT) e de pressão de vapor d'água (Δe).

No cálculo do ΔT , considerou-se a diferença entre os valores de temperatura do bulbo seco ($T_{s1} - T_{s2}$). Já para a determinação do Δe , utilizou-se a equação de Tetens (Equação 11) para a obtenção da pressão de saturação (e_s) em função de T_u , aplicando o resultado, $e_s(T_u)$, na equação psicrométrica (Equação 12) para os dois níveis, obtendo-se $e_a(1)$ e $e_a(2)$. Com isso, Δe equivale à diferença entre $e_a(1)$ e $e_a(2)$.

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{(7,5 T / 237,3 + T)} \quad (11)$$

$$e_a = e_s(T_u) - A Pa (T_s - T_u) \quad (12)$$

sendo, e_s = pressão de saturação de vapor d'água, em kPa, T = temperatura do ar, em °C, T_s = temperatura do bulbo seco, em °C, T_u = temperatura do bulbo molhado, em °C, $e_s(T_u)$ = pressão de saturação em função de T_u , em kPa, Pa = pressão atmosférica local, em kPa, e A = coeficiente psicrométrico de acordo com o psicrômetro utilizado, que nesta pesquisa foi usado um sistema de aspiração artificial que força o ar a passar pelos termômetros, sendo assim $A = 0,00067 \text{ °C}^{-1}$.

Admitindo a hipótese da igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor e vapor d'água ($k_h = k_v$), a razão de Bowen, β , foi expressa por:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (13)$$

em que, γ = Constante psicrométrica, em kPa °C⁻¹, equivalente ao produto de $A \cdot Pa$ na Equação 12.

Assim, os fluxos de calor latente (LE) e calor sensível (H) foram estimados com base na Razão de Bowen (β), conforme as equações 14 e 15, assumindo-se um período médio de 10 minutos para as relações empíricas entre os fluxos e gradientes verticais de H e LE:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (14)$$

$$H = \frac{\beta (R_n - G)}{1 + \beta} \quad (15)$$

4.4.2 Análise da qualidade dos dados do método da Razão de Bowen

Os erros associados à metodologia do BERB que levam a inconsistências nos valores de β e dos fluxos de calor latente e sensível são definidos por Perez *et al.* (1999) e foram considerados nesta pesquisa. Esses erros são avaliados com base nos dados do perfil de pressão de vapor d'água em cada horário de medição, na resolução dos sensores e na conversão de sinais da relação fluxo-gradiente, segundo o que propuseram os autores.

Quando R_n e G seguem em direção à superfície, seus valores são considerados positivos, já LE e H são positivos quando na direção oposta à superfície e aos gradientes ΔT e Δe . Deste modo, os dados consistentes fisicamente devem estar de acordo com a expressão 16, sendo sempre maior que zero, e os valores de β sendo consistentes, quando não contidos no intervalo de rejeição da Equação 17.

$$\frac{\Delta e}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{H} = \frac{\Delta e + \Delta T}{R_n - G} > 0 \quad (16)$$

$$(-1 + |\partial\epsilon|) \leq \beta \leq (1 + |\partial\epsilon|) \quad (17)$$

sendo, $\partial\epsilon$ = erro absoluto de β .

Os valores de $\partial\epsilon$ foram estimados por meio da Equação 18:

$$\epsilon = \frac{\partial\Delta e + \gamma \partial\Delta T}{\Delta e} \quad (18)$$

em que, $\partial\Delta e$ e $\partial\Delta T$ = limites de resolução dos gradientes de pressão de vapor d'água (kPa) e de temperatura (°C), respectivamente. Considerou-se valores fixos de $\partial\Delta e = |0,02|$ kPa e $\partial\Delta T = |0,05|$ °C, já que os erros podem ser tanto positivos quanto negativos (AZEVEDO et al., 2003; PEREZ et al., 1999). Portanto, os valores de ϵ estão associados à resolução dos sensores e aos próprios valores medidos de Δe .

Como consequência das considerações impostas por Perez *et al.* (1999), apenas duas situações possibilitam dados válidos, conforme exposto na Tabela 4. Nenhum dos casos válidos consideram possíveis efeitos da advecção (Ad).

Quando os dados não atenderam a essas condições, ou seja, quando ocorreram falhas, estas foram associadas aos erros do tipo A, B, C, D e E, denominados por Perez *et al.* (1999), conforme Tabela 5. Além dos critérios estabelecidos por Perez *et al.* (1999) na obtenção dos valores diários de LE e H, calculados a cada 10 minutos, foi considerado que os valores de β inferiores a -0,75 também acarretam valores de LE e H fisicamente inconsistentes (MARIN, 2003; ORTEGA-FARIAS *et al.*, 1996).

Tabela 4. Condicionais que permitem dados válidos no método BERB

	Energia disponível	Diferença de pressão de vapor	Razão de Bowen	Fluxos de calor
I)	$R_n - G > 0$	$\Delta e > 0$	$\beta > -1$	LE>0 e H<0 para $1 < \beta < 0$ ou H>0 para $\beta > 0$
		$\Delta e < 0$	$\beta < -1$	LE<0 e H>0
II)	$R_n - G < 0$	$\Delta e > 0$	$\beta < -1$	LE>0 e H<0
		$\Delta e < 0$	$\beta > -1$	LE<0 e H>0 para $1 < \beta < 0$ ou H<0 para $\beta > 0$

Fonte: Adaptado de Perez *et al.* (1999)

Tabela 5. Resumo dos casos em que o método BREB falha

Tipo de Erro	Condição
A	$R_n - G > 0, \Delta e > 0$ e $\beta < -1 + \epsilon $
B	$R_n - G > 0, \Delta e < 0$ e $\beta > -1 - \epsilon $
C	$R_n - G < 0, \Delta e > 0$ e $\beta > -1 - \epsilon $
D	$R_n - G < 0, \Delta e < 0$ e $\beta < -1 + \epsilon $
E	Mudanças rápidas de "T" e "e"

Fonte: Perez *et al.* (1999).

Desse modo, foram caracterizados como dias válidos aqueles que apresentaram mais de 80% dos dados de LE e H (médios de 10 minutos) fisicamente consistentes no período diurno, em função dos critérios descritos e aqui adotados. Nos dias válidos, os dados rejeitados, correspondentes a até 20% dos dados diários, foram interpolados assumindo que $R_n - G$ é representado apenas por LE, e o H é

igual a zero, quando ocorre a transição de valores de $R_n - G$ de positivos para negativos (MARIN, 2003). Já em dias inválidos, propôs-se uma correlação com base nos dados válidos durante os dois ciclos do fluxo de calor latente (LE), a cada 10 minutos e dados de LE calculados pela modificação proposta por Lin *et al.* (2016) (Equação 9). Em dias em que os dados de temperatura e/ou umidade relativa do ar apresentaram problemas, o preenchimento de falhas foi calculado em função da correlação entre LE e R_n , ambos obtidos na torre micrometeorológica.

Após a obtenção dos valores faltantes de LE, os valores de H foram obtidos por meio do fechamento do balanço de energia (equação 10) e, conforme a relação H/LE, foram gerados os valores instantâneos da Razão de Bowen.

4.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada para intervalos de 10 minutos, baseada nos dados de LE que foram gerados para esse mesmo intervalo de tempo, conforme a expressão:

$$ET_{C\ 10min} = \frac{LE\ t\ f_{tempo}}{\lambda} \quad (19)$$

em que, t = intervalo de tempo de armazenamento dos valores médios das medidas (10 minutos), f_{tempo} = fator de ajuste da escala de tempo (60 segundos) e λ é o calor latente de vaporização ($W\ m^{-2}$). Posteriormente, os valores de ET_{C10min} foram integrados em dados de ET_c média diária ($mm\ dia^{-1}$), desconsiderando dados do período em que $R_n - G < 0$, para evitar possíveis inconsistências, assim:

$$ET_{Cdiária} = \sum_{R_n-G>0}^{i=1} ET_{C10min} \quad (20)$$

Utilizando a razão a seguir foram obtidos os coeficientes da cultura diários durante todo ciclo avaliado:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (21)$$

sendo, K_c = coeficiente da cultura (adimensional), ET_c = evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}) e ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}).

A ET_o diária foi estimada utilizando o método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998). Nela foram aplicados os dados da estação meteorológica da Embrapa Semiárido, localizada a 500 m do pomar, ainda dentro da fazenda de estudo, sendo dada pela expressão:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900 u_2}{T_{med} + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (22)$$

onde, Δ = declividade da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), R_n = radiação líquida diária, ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), G = fluxo de calor diário no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), T_{med} = temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$), u_2 = velocidade média diária do vento na altura de 2 m (m s^{-1}), e_s = pressão média diária de saturação de vapor d'água (kPa) e e_a = pressão média diária de vapor d' água (kPa).

4.6 PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DA CULTURA

Após cômputo da ET_c acumulada para cada ciclo da cultura, determinou-se a produtividade de água da cultura (PAC , $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$), por meio da relação entre a produtividade do pomar e a soma da lâmina de água evapotranspirada:

$$PAC = \frac{PROD}{ET_{c_a}} \quad (23)$$

onde, $PROD$ = Produtividade do pomar (kg ha^{-1}) e ET_{c_a} = Evapotranspiração da cultura acumulada ao longo do ciclo (mm).

Também foi calculada a eficiência do uso da água (EUA , $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) obtida pela relação entre a produtividade da cultura e a lâmina de irrigação para cada ciclo avaliado, conforme a Equação 24:

$$EUA = \frac{PROD}{LI_a} \quad (24)$$

sendo, LI_a = Lâmina de irrigação acumulada ao longo do ciclo (mm).

4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram estabelecidas equações de correlação entre os dados medidos na estação agrometeorológica e a torre micrometeorológica, a fim de se promover a substituição de valores faltosos. Para isso, foram realizadas correlações lineares e teste de significância pelo coeficiente de Pearson. Os resultados dessas análises encontram-se no Material Suplementar 2 (MS2).

A apresentação dos resultados considera os dados médios diários, mensais para cada fase fenológica e para os dois ciclos produtivos estudados. Assim como os totais de chuva, irrigação e evapotranspiração.

De modo geral, esta pesquisa contemplou análises estatísticas para a descrição dos resultados obtidos, as quais citam-se a determinação de máximos, mínimos, médias, desvio padrão e análises de regressão linear, com o cálculo dos coeficientes de correlação de Pearson (r) e de determinação (R^2).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E PRODUTIVIDADE DA CULTURA

Na tabela 6 são apresentados os dados do índice de área foliar (IAF) que foram gerados para alguns dias no período de estudo. Esses dias são identificados com base nos dias após a poda (DAP) e a fase fenológica correspondente. O Ciclo I teve um IAF médio de $5,61 \pm 0,27 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, enquanto o Ciclo II apresentou valores mais elevados, com média de $6,01 \pm 0,45 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. De modo geral, os dois ciclos avaliados apresentaram IAF médio de $5,86 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, valor próximo aos obtidos em trabalhos com a cultivar Tommy Atkins, sendo $6,70 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ por Souza *et al.* (2018b) e $5,60 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ por Teixeira *et al.* (2008b), e com a cultivar Kent, $5,84 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ por Silva (2019). A proximidade com os valores do IAF observados nos dois ciclos está associada às condições adequadas de manejo, nutrição e disponibilidade de água, tudo isso associado às condições ambientais.

Tabela 6. Índice de área foliar (IAF) com base nos dias após a poda (DAP) em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE

Fase Fenológica	Ciclo I		Ciclo II	
	DAP	IAF ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$)	DAP	IAF ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$)
Crescimento Vegetativo	**	**	37	5,97
Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos	127	5,86	89	5,96
Indução Floral	**	**	**	**
Floração	190	5,29	162	6,81
			177	5,39
Desenvolvimento de Frutos	225	5,49	185	5,84
	246	5,80	198	5,76
	**	**	206	6,33
Maturação de Frutos	**	**	**	**
Média		$5,61 \pm 0,27$		$6,01 \pm 0,45$

** sem avaliações.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Analisando os dados não é possível identificar uma mudança abrupta entre os valores de IAF em cada fase, principalmente no Ciclo I. Contudo, caso houvesse um maior número de observações seria esperado valores de IAF superiores na fase de crescimento vegetativo e floração devido ao aumento no número de folhas e do desenvolvimento das panículas; e valores de IAF mais baixos na frutificação, considerando que nessa fase há a abertura da copa quando os frutos bem desenvolvidos alteram a conformação dos galhos, permitindo uma maior entrada de radiação no pomar. Uma maior variação nos valores de IAF pode ser observada no Ciclo II, quando há maior disponibilidade de dados.

No Ciclo I, a produtividade total do pomar foi de $27,53 \text{ t ha}^{-1}$ ($134 \text{ frutos planta}^{-1}$), com importante aumento de produtividade verificado no Ciclo II, quando foram computados $42,77 \text{ t ha}^{-1}$ ($218 \text{ frutos planta}^{-1}$). A produtividade média do primeiro ciclo foi próxima à produtividade média da mangueira na região do Submédio do Vale do São Francisco, que é, segundo o IBGE, de $28,7 \text{ t ha}^{-1}$; enquanto no segundo ciclo esse valor foi consideravelmente superado. O Ciclo I teve início com uma poda de limpeza realizada após a colheita, eliminando-se apenas os restos das estruturas de inflorescências e frutificações, bem como alguns ramos. Já no Ciclo II foi realizada a poda de produção, visto que o ciclo já estava ajustado para atender às exigências do mercado comprador. Com isso, houve maior desenvolvimento foliar no Ciclo II, conforme apresentado nos dados de IAF, e conseqüentemente maior fonte para os processos fotossintetizantes relacionados ao acúmulo de biomassa e produção de frutos. Associado a isso, há de se considerar que os ciclos produtivos ocorreram sob condições climáticas adequadas ao desenvolvimento da mangueira.

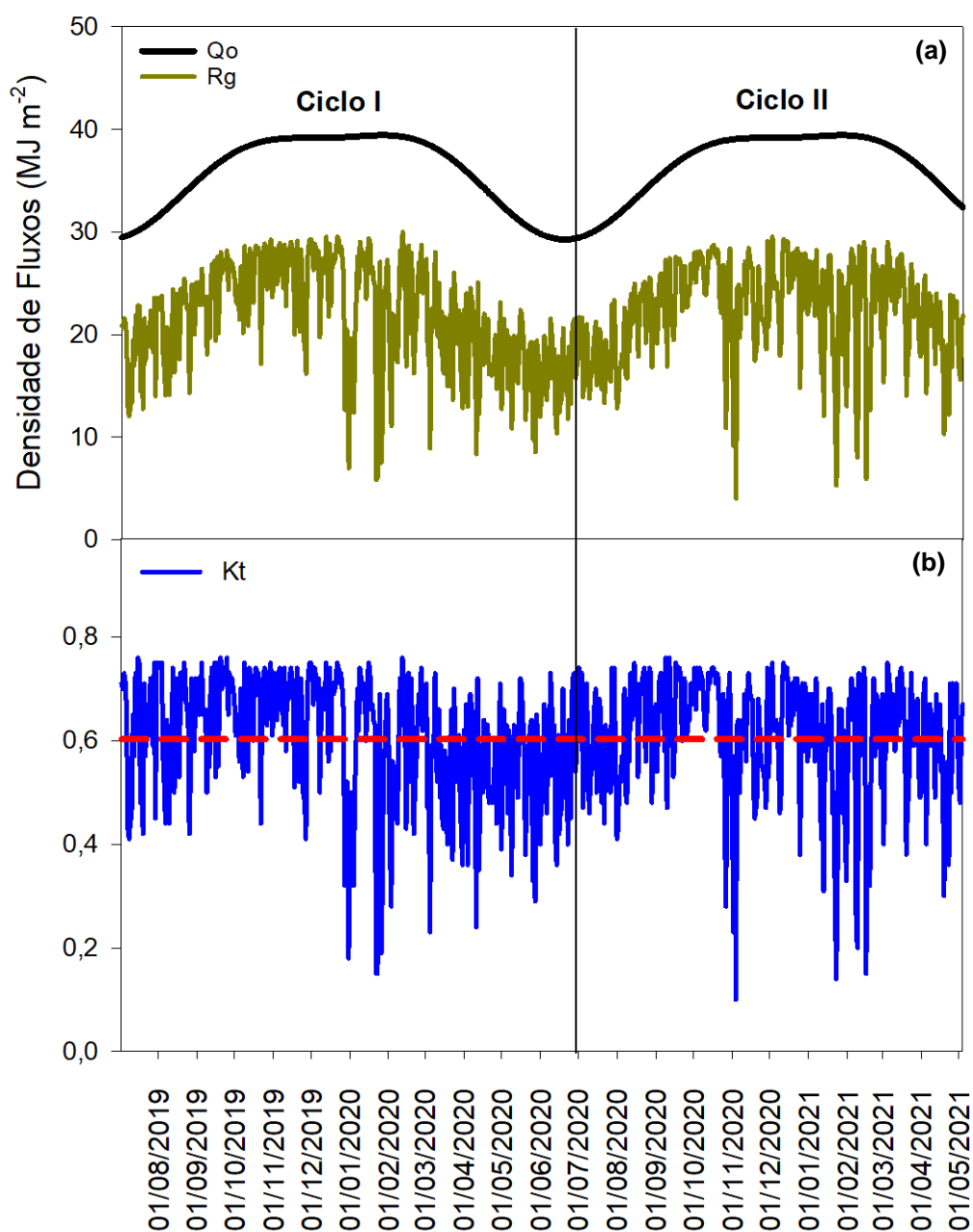
5.2 BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA

5.2.1 Balanço de Radiação à Superfície

Na Figura 7 observa-se a variação da radiação extraterrestre incidente no topo da atmosfera (Q_0), da radiação solar global (R_g) incidente no pomar de manga 'Palmer' entre julho de 2019 e maio de 2021, e do índice de transmissividade (K_t), que representa a relação R_g/Q_0 . As variações de radiação observadas estão associadas às mudanças da posição da terra-sol ao longo do ano. A radiação solar incidente sobre o pomar cultivado com mangueira 'Palmer' foi de 60% da radiação incidente no topo

da atmosfera. Esse valor é próximo ao obtido por Souza *et al.* (2015) para a mesma região. Os dias nublados ($K_t < 0,35$) compreenderam 3,8% do período avaliado, enquanto os dias de céu aberto ($K_t > 0,65$) foram equivalentes a 43,94%. O restante do período correspondeu a dias parcialmente nublados (52,25%).

Figura 7. (a) Variação da radiação solar extraterrestre (Q_o), radiação solar global (R_g) e (b) coeficiente de transmissividade atmosférica (K_t) em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

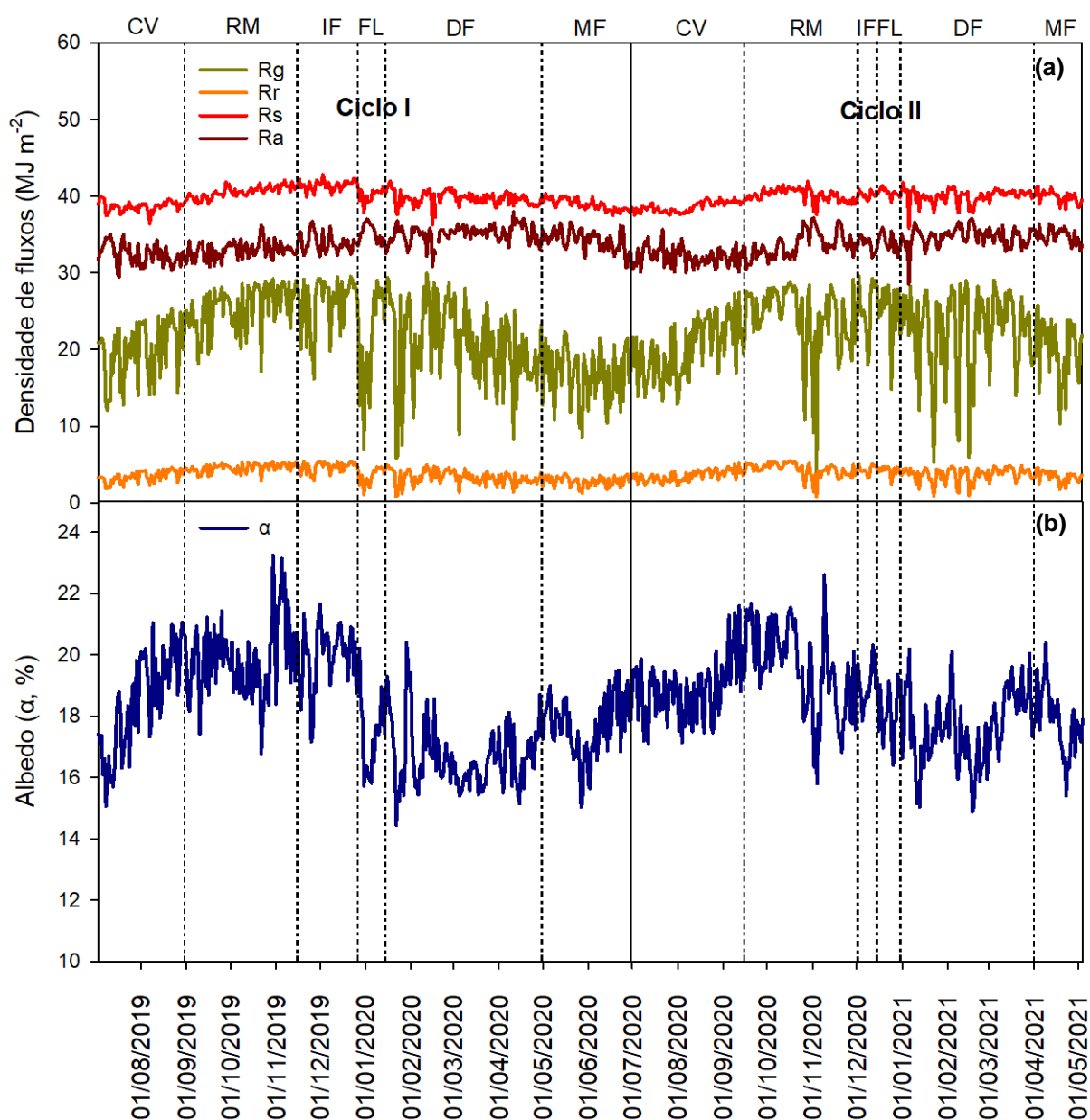
A radiação solar global (R_g) é o componente de maior importância no balanço de radiação, e sua grande oscilação ao longo de todo o período implica mudanças na energia disponível na superfície, alterações na quantidade de radiação refletida sobre a temperatura do ar, tendendo a ser proporcional ao valor de R_g . As oscilações são mais intensas principalmente no primeiro e último trimestre de cada ano, em resposta direta a presença de nuvens associadas ao período chuvoso. Nessa época, mesmo ocorrendo maior concentração de nuvens, destaca-se que elas podem ou não ocasionar chuvas e, com isso, as reduções nos valores de R_g não estão necessariamente associadas à ocorrência de precipitações. Esse fenômeno implica, especialmente, diminuição do saldo de radiação para esses dias, afetando processos dependentes dele.

A Figura 8 apresenta a variação dos componentes do balanço de radiação (R_g , R_r , R_a e R_s) e o albedo (α), medidos na área experimental durante os dois ciclos produtivos da mangueira 'Palmer'. As maiores médias da radiação solar global foram observadas entre o repouso vegetativo e maturação de ramos até a floração, registrando valores entre 21 e 26,2 MJ m⁻² dia⁻¹, sendo R_g , para essas fases, um pouco mais intensa no Ciclo I do que no Ciclo II. Já os menores valores ocorreram no crescimento vegetativo e maturação de frutos, pois coincidiram com os meses de maio a julho, época do ano de menor incidência de radiação sobre a superfície, com média de R_g entre 16 e 20,5 MJ m⁻² dia⁻¹. Na maturação de frutos do Ciclo I, R_g foi mais reduzida em comparação ao Ciclo II, pois a época de menor incidência compreendeu mais dias no final desse ciclo, devido à sua duração prolongada. Os demais componentes do balanço apresentaram menor variação, sendo que para o balanço de ondas longas (BOL), a radiação emitida pela atmosfera foi em média 33,9 MJ m⁻² dia⁻¹ e a radiação emitida pela superfície foi por volta dos 39,7 MJ m⁻². Também sem muitas oscilações, a radiação refletida pela superfície permaneceu na faixa dos 3 a 4 MJ m⁻² dia⁻¹, reduzindo um pouco mais nos dias de maior nebulosidade. Essa relação permitiu uma média de albedo (Figura 8b) de 18,3% para todo o período, sendo maior nas épocas em que R_g foi mais abundante.

Na tabela 7, observam-se as médias e desvio padrão dos componentes do balanço de radiação ao longo das fases fenológicas, nos Ciclos I e II. As altas condições de radiação sobre o dossel da cultura ao longo de todo o período experimental induzem o pleno desenvolvimento das mangueiras que, sob condições

irrigadas, apresentam maior taxa fotossintética, ocasionando aumento do crescimento vegetativo, formação e maturação de frutos.

Figura 8. (a) Variação sazonal dos componentes do balanço de radiação e (b) do albedo, em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE, considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos



Rg = Radiação de ondas curtas emitida pela atmosfera; Rr = Radiação de curtas refletida pela superfície; Ra = Radiação de ondas longas emitida pela atmosfera; Rs = Radiação de ondas longas refletida pela superfície e α = albedo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

No Ciclo I, a indução floral coincidiu com a época de maior Rg, sendo igual a $26,19 \pm 3,49 \text{ MJ m}^{-2}$. Já no Ciclo II, essa mesma fase fenológica ocorreu com Rg de $24,67 \pm 3,64 \text{ MJ m}^{-2}$. Por sua vez, a floração teve a maior média de Rg ($25,77 \pm 3,64 \text{ MJ m}^{-2}$) no Ciclo II, o que está associado a maiores valores da temperatura do ar.

Tabela 7. Componentes do balanço de radiação (BR) e albedo em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE

Fases fenológicas	Componentes do balanço de radiação (BR, MJ m ⁻² dia ⁻¹)				α (%)
	Rg	Rr	Ra	Rs	
Crescimento Vegetativo I	19,83 ± 3,72	3,41 ± 0,73	32,43 ± 1,38	38,65 ± 0,67	18,38 ± 1,56
Repouso Vegetativo e Maturação dos Ramos I	25,41 ± 2,94	4,57 ± 0,55	32,97 ± 1,09	40,52 ± 0,77	19,91 ± 1,25
Indução Floral I	26,19 ± 3,49	4,72 ± 0,66	33,91 ± 1,21	41,42 ± 0,61	20,03 ± 1,01
Floração I	21,29 ± 6,54	3,55 ± 1,11	35,26 ± 1,23	40,17 ± 0,94	17,46 ± 1,34
Desenvolvimento de Frutos I	20,73 ± 5,37	3,33 ± 0,89	35,09 ± 1,16	39,75 ± 0,91	16,72 ± 1,08
Maturação de Frutos I	16,79 ± 3,48	2,85 ± 0,61	34,31 ± 1,33	38,94 ± 0,70	17,65 ± 1,02
Média	21,27 ± 5,31	3,64 ± 1,00	33,95 ± 1,56	39,75 ± 1,15	18,16 ± 1,74
Crescimento Vegetativo II	20,45 ± 3,86	3,61 ± 0,72	32,09 ± 1,16	38,67 ± 0,67	18,91 ± 0,97
Repouso Vegetativo e Maturação dos Ramos II	23,95 ± 4,47	4,33 ± 0,89	33,66 ± 1,63	40,14 ± 0,81	19,70 ± 1,81
Indução Floral II	24,67 ± 3,64	4,25 ± 0,60	34,02 ± 0,86	40,17 ± 0,50	18,95 ± 0,68
Floração II	25,77 ± 3,64	4,33 ± 0,65	34,07 ± 1,23	40,53 ± 0,53	18,17 ± 1,00
Desenvolvimento de Frutos II	22,57 ± 5,46	3,74 ± 0,92	34,65 ± 1,25	40,03 ± 0,92	17,65 ± 1,21
Maturação de Frutos II	20,01 ± 3,90	3,43 ± 0,73	34,85 ± 0,93	39,94 ± 0,77	17,88 ± 1,08
Média	22,15 ± 4,87	3,83 ± 0,89	33,77 ± 1,63	39,71 ± 1,01	18,54 ± 1,53

Rg = Radiação de ondas curtas emitida pela atmosfera; Rr = Radiação de ondas curtas refletida pela superfície; Ra = Radiação de ondas longas emitida pela atmosfera; Rs = Radiação de ondas longas refletida pela superfície e α = Albedo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O pomar em estudo destoa de várias áreas de produção comercial da mangueira, no sentido de que, em geral, os produtores aproveitam os meses de junho a agosto para promoverem a floração da mangueira, visto que temperaturas mais amenas facilitam a floração uniforme, e ainda, esses meses correspondem a épocas sem ocorrência de chuvas, que também é característica favorável ao processo de indução floral. Com essa inversão de ciclo, o pomar em estudo apresentou colheita nos meses de junho e maio, respectivamente no primeiro e segundo ciclos. Assim, a maturação de frutos foi a fase de menor incidência de Rg em ambos os ciclos, sendo consideravelmente menor no Ciclo I ($16,79 \pm 3,48 \text{ MJ m}^{-2}$) devido à época do ano. Valores amenos nessa última fase são adequados para melhorar a qualidade dos frutos, devendo haver disponibilidade para os processos fisiológicos da cultura, permitindo a melhor acidez e o maior teor de sólidos solúveis. Contudo, sem excesso, pois pode ser prejudicial à coloração da casca, sendo que os frutos posicionados do lado oeste ficam mais susceptíveis a queimaduras provocadas pelo sol. Para evitar essa alteração ocorre a aplicação de uma camada de proteção à base de cal.

No balanço de ondas longas, em adição ao que foi observado na Figura 8a, é possível verificar que os fluxos radioativos tiveram médias muito próximas ao longo de todas as fases, especialmente as do Ciclo II. Esses valores resultaram um BOL médio de $-5,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Observam-se ainda variações do albedo por fases, entre 14 e 23% dentro do encontrado, por exemplo, por Teixeira *et al.* (2008a) para a mesma região, ao longo de dois ciclos da mangueira 'Tommy Atkins', aos 18 anos de plantio. Os principais fatores atuantes na variação sazonal deste parâmetro são as conformações morfológicas da copa das árvores, principalmente em relação à cor, ao índice de área foliar e às condições meteorológicas no que diz respeito à umidade proporcionada pelos períodos de chuvas, isso quando as folhas estão alternadamente úmidas e secas, mudando o total refletido pela superfície, assim como a cor, a textura e a umidade do solo, visto que estes fatores também influem nos valores de Rr captados pelo sensor.

5.2.2 Análise da consistência física dos dados da razão de Bowen

Foram avaliados um total de 91.254 dados (médios de 10 minutos) entre julho de 2019 e maio de 2021, contabilizando 658 dias, durante o Ciclo I (2019/2020)

(50.902 dados, em 363 dias) e Ciclo II (2020/2021), (40.352 dados, em 295 dias) da mangueira 'Palmer'. Aplicando os critérios propostos por Perez *et al.* (1999) e rejeitando valores da razão de Bowen (β) menores que -0,75, foram considerados fisicamente consistentes 58,03% e 54,52% dos dados avaliados no primeiro e segundo ciclos, respectivamente. Trabalhos desenvolvidos em regiões semiáridas obtiveram percentuais semelhantes, sendo destacadas por Perez *et al.* (1999) observações de consistências entre 56 e 70% para esse tipo de clima.

O erro mais recorrente foi o de tipo "B", que correspondeu a 22,17% do total de dados medidos. Ao longo do segundo ciclo esse erro foi ainda mais comum, contribuindo para que a maioria dos dados inconsistentes fossem observados durante o período diurno, o que leva a considerar problemas de manutenção nos sensores, afetando a sua sensibilidade e realizando medições incorretas, principalmente para a temperatura do bulbo úmido.

Perez *et al.* (1999) apontam que a maioria dos dados inconsistentes vêm a ocorrer no período noturno, quando os gradientes de temperatura e pressão de vapor são baixos, devido às condições de atmosfera estável, ficando próximos à faixa de resolução dos sensores. Por esse motivo, o erro de tipo "C" se torna muito comum em trabalhos que realizam essas avaliações. Os dados avaliados nesta pesquisa apresentaram 14,67% de erro de tipo "C". O erro de tipo "D" também ocorre quando $(R_n - G)$ é negativo e $\Delta e < 0$ e $\beta < -1 + |\epsilon|$, contudo, foi menos frequente, equivalente a apenas 1,07%.

O erro de tipo "A" também foi menos frequente, correspondendo a apenas 0,89%. Esse erro foi ocasionado nos momentos em que foram obtidos valores negativos dos gradientes medidos e a obtenção de valores de H menores que zero, geralmente após eventos de irrigação ou precipitação.

Dentro dessas primeiras inconsistências notou-se que 2,70% dos dados produziram valores de β dentro do limite de rejeição, $(-1 - |\partial\epsilon|) < \beta < (-1 + |\partial\epsilon|)$. De modo complementar, foram descartados os valores de $\beta < -0,75$, que corresponderam a 4,71% do total avaliado.

A quantificação dos erros encontra-se disposta na Tabela 8, subdivididos para cada fase fenológica da mangueira 'Palmer', no período experimental. A partir desses resultados, foram considerados os dias válidos para a determinação dos componentes do balanço de energia, e posterior obtenção da evapotranspiração diária da cultura, aqueles em que pelo menos 80% dos dados diurnos apresentaram

consistência física. Dos 658 dias, foram válidos 243 (Tabela 8), o equivalente a 36,93%, sendo 184 dias (50,68%) no primeiro ciclo da mangueira e 59 dias (20,00%) no segundo ciclo.

Tabela 8. Resumo da análise de consistência física dos dados da razão de Bowen (β) durante os ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II) da mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, em Petrolina-PE, considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos

Fases fenológicas	NDA	DVP	Tipo de erro				β < -0,75	$(-1- \partial\epsilon)$ < β < $(-1+ \partial\epsilon)$	PDV
			A	B	C	D			
CV I	8205	46	1,62	5,17	38,44	0,23	5,63	2,75	48,91
RM I	11376	68	0,80	3,64	29,80	1,44	4,15	2,83	60,17
IF I	5760	30	0,24	7,86	19,31	3,00	2,43	2,90	67,15
FL I	2592	10	1,04	13,54	12,27	0,31	2,85	1,85	69,98
DF I	14473	25	1,70	28,56	4,11	0,36	7,02	3,50	58,25
MF I	8496	5	0,15	41,89	2,59	0,31	1,29	1,17	53,77
CV II	8784	10	0,18	30,36	11,18	0,25	2,39	2,74	55,64
RM II	11427	7	0,40	38,70	3,03	0,95	4,39	1,26	52,52
IF II	869	2	0,23	12,31	27,73	0,00	6,67	1,61	53,05
FL II	858	5	0,12	0,12	43,36	0,23	7,69	0,70	48,48
DF II	13519	19	0,72	22,88	11,41	2,15	6,86	3,22	55,99
MF II	4895	16	2,53	12,44	22,84	2,31	5,39	5,27	54,48
Total	91254	243	0,89	22,17	14,67	1,07	4,71	2,70	56,48

NDA: número de dados avaliados; DVP: dias válidos do período (>80% de dados diurnos consistentes); e PDV: percentual de dados válidos no período.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

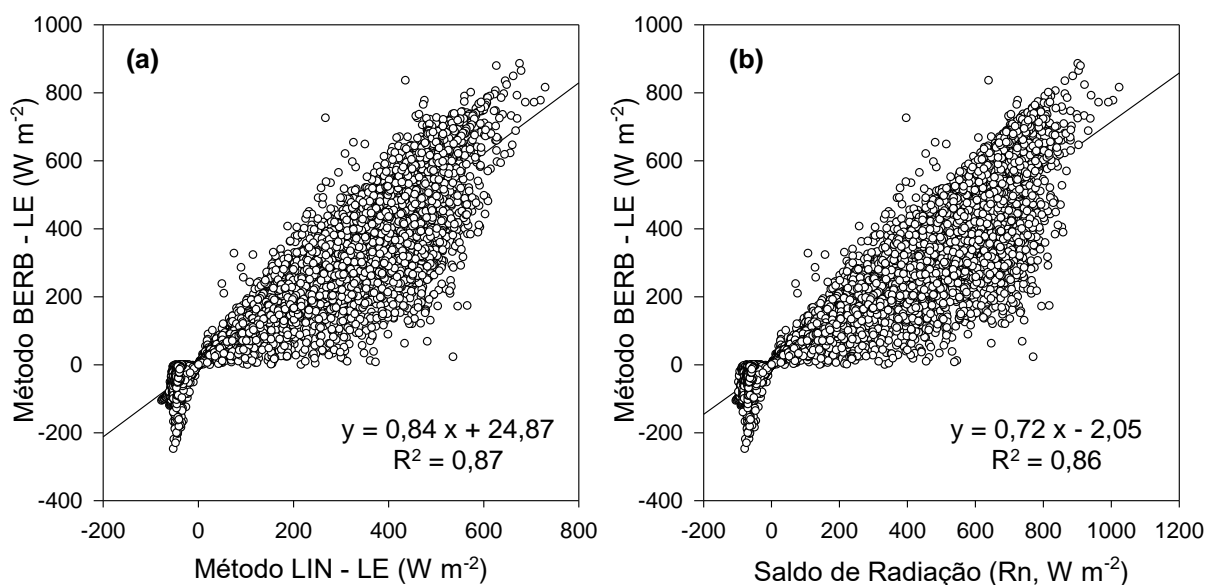
As inconsistências dentro dos dias válidos foram observadas principalmente ao amanhecer e ao entardecer. Este fato está relacionado à inversão térmica, ao mesmo tempo que, nestes períodos, também ocorrem valores baixos do LE, de modo que as suas estimativas não proporcionaram mudanças expressivas nos

valores diários. Com isso, os 20% de dados rejeitados ocorridos, especialmente nesses momentos, foram estimados por interpolação, considerando que o $(R_n - G)$ é representado apenas por LE, e o H é igual a zero, quando ocorre a transição de valores de $(R_n - G)$ de positivos para negativos.

Além disso, verificando a cada dia válido se as condições de manutenção dos sensores de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido foram satisfatórias, foi notada a ocorrência de 147 dias com medições incorretas, das quais foram gerados valores de pressão parcial de vapor superestimados (devido à proximidade entre T_s e T_u). Dessa forma, contabilizam-se ao final de dois ciclos, 96 dias válidos, com resultados para os componentes do balanço de energia validados.

No preenchimento dos valores em dias faltantes foram propostas as correlações em destaque na Figura 9. A correlação entre os dados de LE obtidos pelo método do BERB e pelo método de Lin *et al.* (2016) foi forte e positiva ($R^2 = 0,87$ e $r = 0,93$) (Figura 9a), possibilitando preencher os valores de LE faltantes. Já para os dias em que a UR não foi obtida devido à diferença nula entre as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, LE foi calculada em função da correlação entre LE e R_n ($R^2 = 0,86$ e $r = 0,93$) (Figura 9b), ambos obtidos na torre micrometeorológica.

Figura 9. (a) Relação entre valores do fluxo de calor latente (LE), a cada 10 minutos, obtidos pelo método tradicional da Razão de Bowen e pelo método de Lin *et al.* (2016) e (b) entre os valores de saldo de radiação à superfície, medidos na torre micrometeorológica instalada em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE

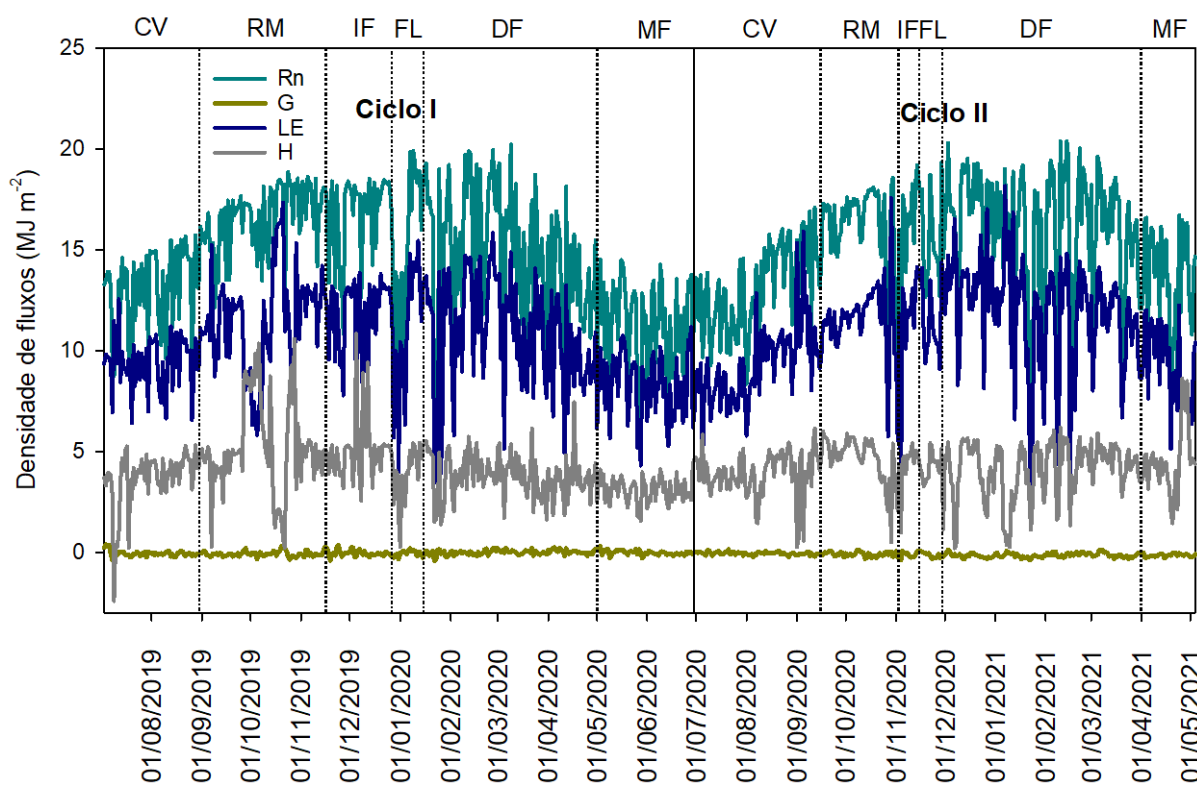


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.2.3 Balanço de Energia na Superfície

A variação sazonal dos componentes do balanço de energia, ao longo dos dois ciclos de cultivo da manga 'Palmer', pode ser visualizada na Figura 10. A energia disponível na superfície apresenta comportamento proporcional à radiação incidente. Os últimos três meses de cada ano foram os que apresentaram as maiores densidades de energia, com R_n média entre 15 e 17 $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Esse período compreendeu a fase de repouso vegetativo e maturação de ramos, indução floral e início da floração em ambos os ciclos. Nesse caso, as condições de maior saldo de radiação permitem maiores taxas fotossintéticas que promovem o maior desenvolvimento da planta, em especial da parte aérea, principalmente sob condições irrigadas.

Figura 10. Balanço de energia em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE, considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

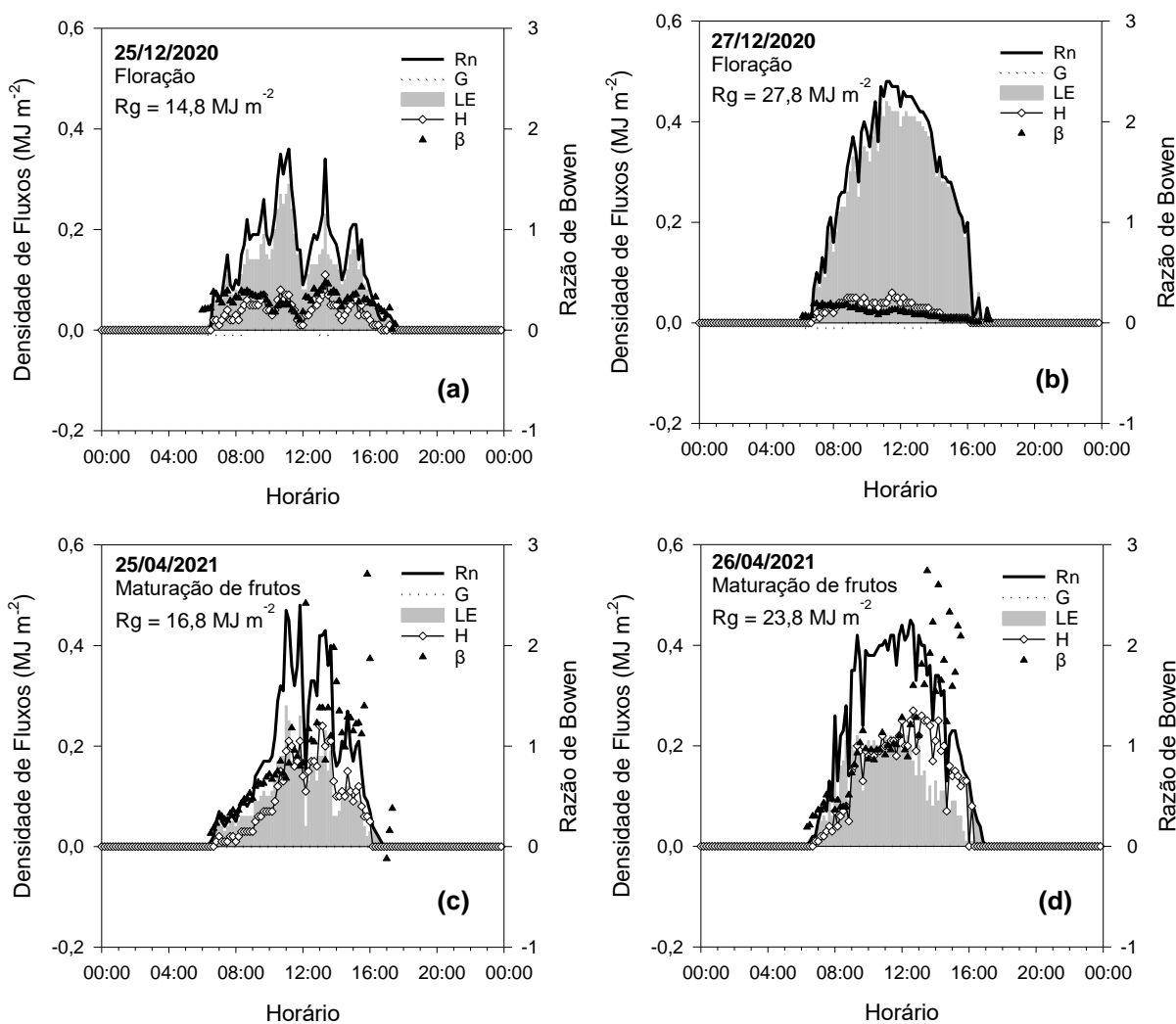
Os valores de fluxo de calor no solo (G) foram baixos, próximos a 0 para todo o período e podem ser explicados pela baixa incidência de radiação sobre a superfície de medição, considerando o alto índice de área foliar da mangueira e a conformação do dossel, que favorecem a maior interceptação de radiação, bem como o número de eventos de irrigação durante este período, contribuindo, desse modo, para que menos calor fosse armazenado no solo.

São observados valores bastante representativos de fluxo de calor latente (LE), sendo o maior componente do balanço de energia, o que indica que maior quantidade de energia foi redirecionada para a evapotranspiração da cultura. O comportamento pode ter sido influenciado, principalmente, pela maior disponibilidade de água no solo devido à irrigação e às chuvas recorrentes. As oscilações de LE foram consideráveis em todo o período, isso porque os valores médios diários de LE seguem proporcionalmente o saldo de radiação, tendo valores baixos para o início e o final de ciclo, elevando quando a energia disponível aumenta na metade do ciclo. Durante as reduções, sua proporção no balanço se torna bem próxima ao do fluxo diário de calor sensível (H), sendo que em alguns dias, H foi um pouco acima de LE , observado através dos valores atípicos na fase RM I da Figura 10, esse período coincidiu com os dias em que a umidade do solo esteve em queda constante (entre setembro e dezembro de 2019), reduzindo a evapotranspiração da cultura, além da umidade relativa do ar mais baixa e aumentos de temperatura, refletindo sobre o maior aquecimento do ar. Durante esse período, a mangueira foi manejada com redução da lâmina de água de irrigação, a fim de promover o amadurecimento dos ramos e a indução floral. Esse procedimento ocorre em áreas comerciais de mangueira, e sua duração depende de vários fatores, desde a variedade, tipo de solo, produtos utilizados, ocorrência de chuvas e características meteorológicas, dentre outros. Logo após isso ocorre a floração, e a elevação dos níveis de irrigação e ocorrência de chuvas aumentaram a disponibilidade de água, retornando o aumento da evapotranspiração.

Outro ponto tocante à variação dos componentes do balanço de energia é a nebulosidade. Para verificar os efeitos dessa variável, utilizando por base os dados de K_t destacados por Carmo *et al.* (2015), foram selecionados dias próximos (válidos pela análise de consistência física), em fases distintas do crescimento da cultura, demonstrando na Figura 11 os padrões horários para os dias parcialmente nublados,

25/12/2020 ($K_t = 0,38$) e 25/04/2021 ($K_t = 0,50$) e, logo após, os dias de céu aberto, 27/12/2020 ($K_t = 0,71$) e 26/04/2021 ($K_t = 0,71$).

Figura 11. Padrões diurnos dos componentes do balanço de energia para dias com condições de nebulosidade variável, em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, em Petrolina-PE



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Figura 11b, o comportamento dos componentes do balanço de energia é comum para os dias de céu totalmente aberto. Por volta do meio-dia é o momento de maior intensidade de fluxos, devido à maior incidência de radiação solar. Dias tipicamente assim, contando com condições favoráveis à evapotranspiração, como a disponibilidade de água no solo, o fluxo de calor latente é mais elevado, acarretando uma razão de Bowen mais baixa. Já em dias de nebulosidade (Figuras 11a e 11c), ou momentos de concentração maior de nuvens (podem ser vistas na Figura 11 algumas

reduções), os fluxos caem consideravelmente. Nos casos apresentados nas Figuras 11c e 11d, a parcela relativa ao H foi maior, tornando os valores de razão de Bowen maiores durante esse período. O fluxo de calor do solo é baixo nos dias de céu aberto (Figuras 11b e 11d), em decorrência da maior quantidade de energia usada para LE.

Na Tabela 9, encontram-se os valores médios, seguidos do desvio padrão, dos componentes do balanço de energia, de suas partições e da Razão de Bowen, ao longo das fases fenológicas da cultura.

Tabela 9. Componentes do balanço de energia (BE) e Razão de Bowen (β) em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE

Fases fenológicas	Componentes do balanço de energia (BE, MJ m ² dia ⁻¹)				β	LE/Rn	H/Rn	G/Rn
	Rn	G	LE	H				
Crescimento Vegetativo I	12,98 ± 2,02	-0,07 ± 0,14	9,39 ± 1,30	3,66 ± 1,39	0,43 ± 0,23	0,73 ± 0,11	0,28 ± 0,10	-0,01 ± 0,01
Repouso Vegetativo e Maturação dos Ramos I	16,50 ± 1,69	-0,09 ± 0,13	11,40 ± 2,51	5,18 ± 2,27	0,88 ± 2,52	0,69 ± 0,13	0,31 ± 0,13	-0,01 ± 0,01
Indução Floral I	16,83 ± 2,00	-0,04 ± 0,16	11,83 ± 1,90	5,05 ± 1,56	0,61 ± 0,58	0,70 ± 0,08	0,30 ± 0,08	-0,003 ± 0,01
Floração I	14,60 ± 4,39	-0,05 ± 0,14	10,96 ± 3,26	3,74 ± 1,37	-0,01 ± 2,63	0,75 ± 0,06	0,26 ± 0,06	-0,01 ± 0,02
Desenvolvimento de Frutos I	14,57 ± 3,67	-0,01 ± 0,12	10,80 ± 2,75	3,80 ± 1,12	0,92 ± 3,70	0,74 ± 0,04	0,26 ± 0,04	-0,002 ± 0,01
Maturação de Frutos I	11,32 ± 2,13	-0,02 ± 0,11	8,30 ± 1,60	3,06 ± 0,59	0,13 ± 3,44	0,73 ± 0,02	0,27 ± 0,02	-0,003 ± 0,01
Média	14,23 ± 3,33	-0,04 ± 0,13	10,26 ± 2,58	4,03 ± 1,64	0,61 ± 2,70	0,72 ± 0,08	0,28 ± 0,08	-0,004 ± 0,01
Crescimento Vegetativo II	13,33 ± 2,20	-0,06 ± 0,07	9,56 ± 1,98	3,84 ± 1,18	0,38 ± 0,36	0,72 ± 0,07	0,29 ± 0,07	-0,005 ± 0,01
Repouso Vegetativo e Maturação dos Ramos II	15,87 ± 2,65	-0,10 ± 0,12	11,49 ± 2,03	4,49 ± 1,09	0,34 ± 0,40	0,73 ± 0,05	0,28 ± 0,05	-0,01 ± 0,02
Indução Floral II	16,65 ± 2,60	-0,12 ± 0,12	13,13 ± 2,37	3,64 ± 1,88	0,50 ± 0,50	0,79 ± 0,11	0,22 ± 0,11	-0,01 ± 0,01
Floração II	17,48 ± 2,33	-0,19 ± 0,09	13,31 ± 1,93	4,35 ± 1,38	0,35 ± 0,28	0,76 ± 0,07	0,25 ± 0,07	-0,01 ± 0,01
Desenvolvimento de Frutos II	15,53 ± 3,69	-0,15 ± 0,11	11,55 ± 2,85	4,14 ± 1,37	-0,05 ± 3,07	0,74 ± 0,06	0,27 ± 0,06	-0,01 ± 0,01
Maturação de Frutos II	13,56 ± 2,50	-0,15 ± 0,08	9,22 ± 1,91	4,49 ± 1,64	0,62 ± 0,44	0,68 ± 0,09	0,33 ± 0,09	-0,01 ± 0,01
Média	14,87 ± 3,16	-0,12 ± 0,10	10,86 ± 2,61	4,13 ± 1,38	0,30 ± 1,77	0,73 ± 0,08	0,28 ± 0,08	-0,01 ± 0,01

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Em quase todo o período, a razão de Bowen (β) média foi positiva e dentro do intervalo de 0 a 1, refletida pelos resultados de fluxo de calor sensível positivos e, quase sempre, inferiores ao fluxo de calor latente. Nas fases em que β foi consideravelmente mais baixa (floração, no primeiro ciclo, e desenvolvimento de frutos, no segundo ciclo), os desvios padrões obtidos foram elevados, abrindo margem para identificar valores médios diários semelhantes aos do restante do período e valores menores que 0 (especialmente na faixa entre -1 e -3), que reduziram a média geral.

Como é possível observar, as fases de indução floral no Ciclo I e de floração no Ciclo II foram as fases que tiveram maiores fluxos de calor latente devido coincidir a época do ano, quando houve maior disponibilidade de energia na superfície e a disponibilidade de água no solo devido às chuvas, o que permitiu as médias de $11,83 \pm 1,90 \text{ MJ m}^{-2}$, na indução floral do Ciclo I e de $13,31 \pm 1,93 \text{ MJ m}^{-2}$, na floração do Ciclo II.

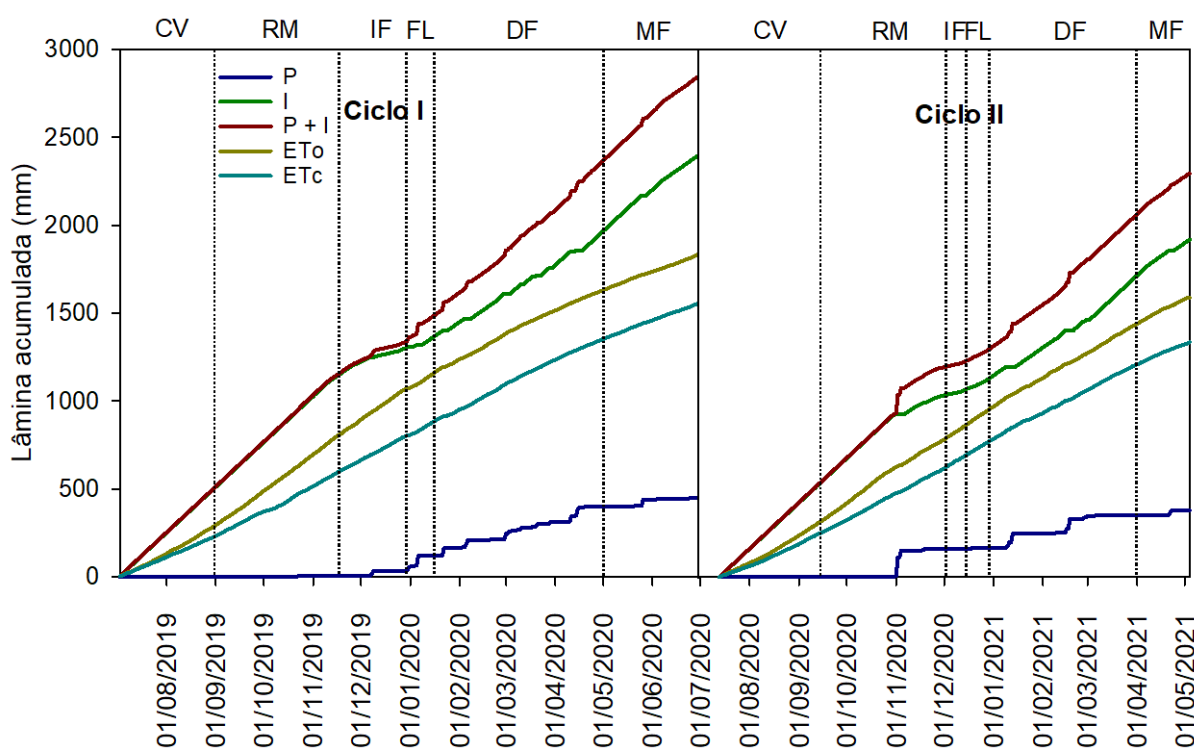
A relação LE/Rn dentro do período experimental não oscila muito entre fases, ficando sempre entre 70% e 80%, ou bem próximo, como foi o caso da maturação de frutos no Ciclo II, quando 68% da energia foi redirecionada para a evapotranspiração da cultura. Contudo, vale destacar que as médias de LE/Rn foram maiores entre a indução floral e o desenvolvimento de frutos de ambos os ciclos, o que coincidiu com o período de chuvas quando houve o aumento da disponibilidade de água no solo, favorecendo a evapotranspiração da cultura, expressa pelo aumento de LE. Nessas fases, menos energia é direcionada ao aquecimento do ar, conseqüentemente, a partição de Rn em fluxo de calor sensível é a mais baixa do período avaliado.

5.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA

A mangueira 'Palmer' cultivada no Submédio do Vale do São Francisco teve um consumo hídrico acumulado de 1.554,8 mm, no Ciclo I, no qual ocorreram mudanças no manejo fitotécnico e, portanto, durou mais dias (363 dias); e 1.334,6 mm no Ciclo II, com as condições de cultivo esperadas para o sistema de produção (295 dias). Nesse mesmo período, o que pode ser observado na Figura 12, as entradas de água no solo foram de 448,5 mm de precipitação acumulada no primeiro ciclo e 377,7 mm no ciclo seguinte. Na irrigação foram aplicados 2.393,1 mm no Ciclo I e 1.918,3

mm no Ciclo II. Essa quantidade e a soma com a precipitação (Figura 12) foram consideravelmente excessivas quando comparadas à evapotranspiração da cultura. Nesse sentido, uma menor quantidade de água poderia ter sido aplicada, mantendo a produtividade do pomar ou até mesmo obtendo um aumento, segundo o que destaca Simões *et al.* (2021). Isso reduziria custos com a irrigação e elevaria a eficiência do uso da água.

Figura 12. Acúmulo hídrico das lâminas de Precipitação (P), Irrigação (I), Precipitação + Irrigação (P+I), Evapotranspiração de Referência (ET_o) e Evapotranspiração da Cultura (ET_c), em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE, considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com base nos valores de produtividade obtida para cada ciclo, a eficiência do uso da água (EUA) baseada na irrigação foi equivalente a $11,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, no Ciclo I, e a $22,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, no Ciclo II. Como se viu, para produtividade a diferença de EUA entre ciclos ocorre em função do manejo adotado, com a cultura tendo um melhor desenvolvimento no Ciclo II, comparado ao Ciclo I, porém ambos os valores são baixos quando levado em consideração, por exemplo, o valor de $46,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$

¹ obtido por Simões *et al.* (2021) avaliando a cv. 'Keitt', em Petrolina-PE. Zuazo *et al.* (2019), em estudo realizado na Espanha, em um clima subtropical mediterrâneo, obtiveram uma EUA de $21,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, para a cv. 'Tommy Atkins'. Nota-se a possibilidade de que a irrigação possa ser manejada de forma mais eficiente, a partir da criação de estratégias de redução da aplicação de água, em condições semelhantes às do pomar avaliado.

A produtividade de água da cultura (PAC) foi de $17,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, no Ciclo I e $32,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, no Ciclo II. As diferenças entre ciclos novamente ocorrem em função do manejo distinto entre eles, e o valor mais alto para o Ciclo II é o que mais se aproxima, por exemplo, do obtido por Teixeira *et al.* (2009) para a mesma região avaliando a cv. 'Tommy Atkins', sendo a PAC de $40,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

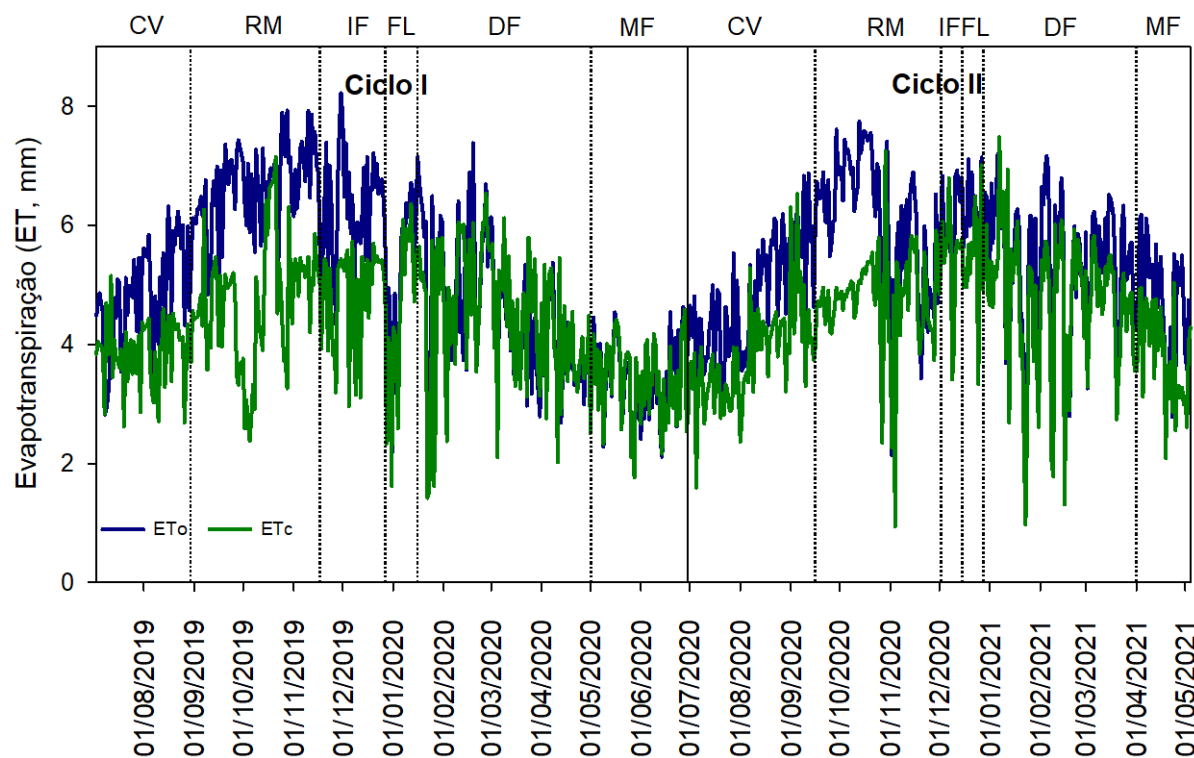
Ainda na Figura 12, é possível observar que, devido às condições meteorológicas ocorrentes, a lâmina de evapotranspiração de referência (ET_o) total foi de 1.832,0 e 1.594,4 mm, nos Ciclos I e II, respectivamente. Em ambos os casos a ET_o superou a ET_c, com mais de 250 mm. A precipitação sofreu alguns aumentos mais evidentes no valor acumulado ao longo do período, principalmente a partir da indução floral de cada ciclo (por volta do mês de novembro), quando começaram a ocorrer chuvas mais fortes, o que também levou a mudanças na irrigação, com pequenas reduções. A ET_o tem uma leve diminuição do valor acumulado na maturação de frutos no Ciclo I, em virtude das condições ambientais mais amenas para esse processo. Em contrapartida, a ET_c segue com acúmulo um pouco mais constante, que pode estar associado à manutenção nas entradas de água no solo.

A variação diária do consumo hídrico da mangueira 'Palmer', ao longo desse período, é apresentada na Figura 13, destacando além da evapotranspiração diária da cultura (ET_c), a evapotranspiração de referência (ET_o). A ET_c segue proporcional a ET_o, com exceção de alguns dias na fase de repouso vegetativo (de 27/09 a 06/10/2020), quando a ET_c reduz em resposta ao aumento do fluxo de calor sensível e baixa no fluxo de calor latente durante esses dias.

A ET_o foi superior a ET_c em grande parte do período, destacando que a demanda hídrica da cultura é abaixo da demanda atmosférica. Porém, na fase final do Ciclo I, durante o desenvolvimento e a maturação de frutos, a ET_c superou a ET_o diária, quando esta foi reduzida em função da baixa radiação incidente no pomar, especialmente nessa última fase, quando a média foi de apenas $16,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Para esse mesmo período, a umidade do solo foi mais alta em relação às demais

fases do período, indicando maior disponibilidade de água decorrente das precipitações ocorridas, por isso a ETc foi próxima a ETo, diferente dessa mesma fase no ciclo seguinte, quando a ETo foi potencializada pela maior radiação incidente, e a ETc foi mantida numa faixa bem semelhante ao ciclo anterior. Destaca-se que, logo após os eventos de precipitação a ETc se eleva, atingindo valores próximos da ETo. Sobre esse fato, ressalta-se o sistema de irrigação adotado, localizado por microaspersão que permite uma área molhada concentrando-se abaixo da copa das plantas, de forma que, em dias sem chuvas, os valores determinados pelo método da razão de Bowen são tipicamente associados ao processo de transpiração e evaporação em baixos níveis que ocorrem abaixo da copa. Diferentemente, em períodos após as chuvas, quando toda superfície fica umedecida, há um aumento do LE, que possivelmente se deve aos maiores valores de evaporação da água do solo nas entrelinhas.

Figura 13. Evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração da cultura (ETc) da mangueira cv. 'Palmer', cultivada sob irrigação, em Petrolina-PE, durante os ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

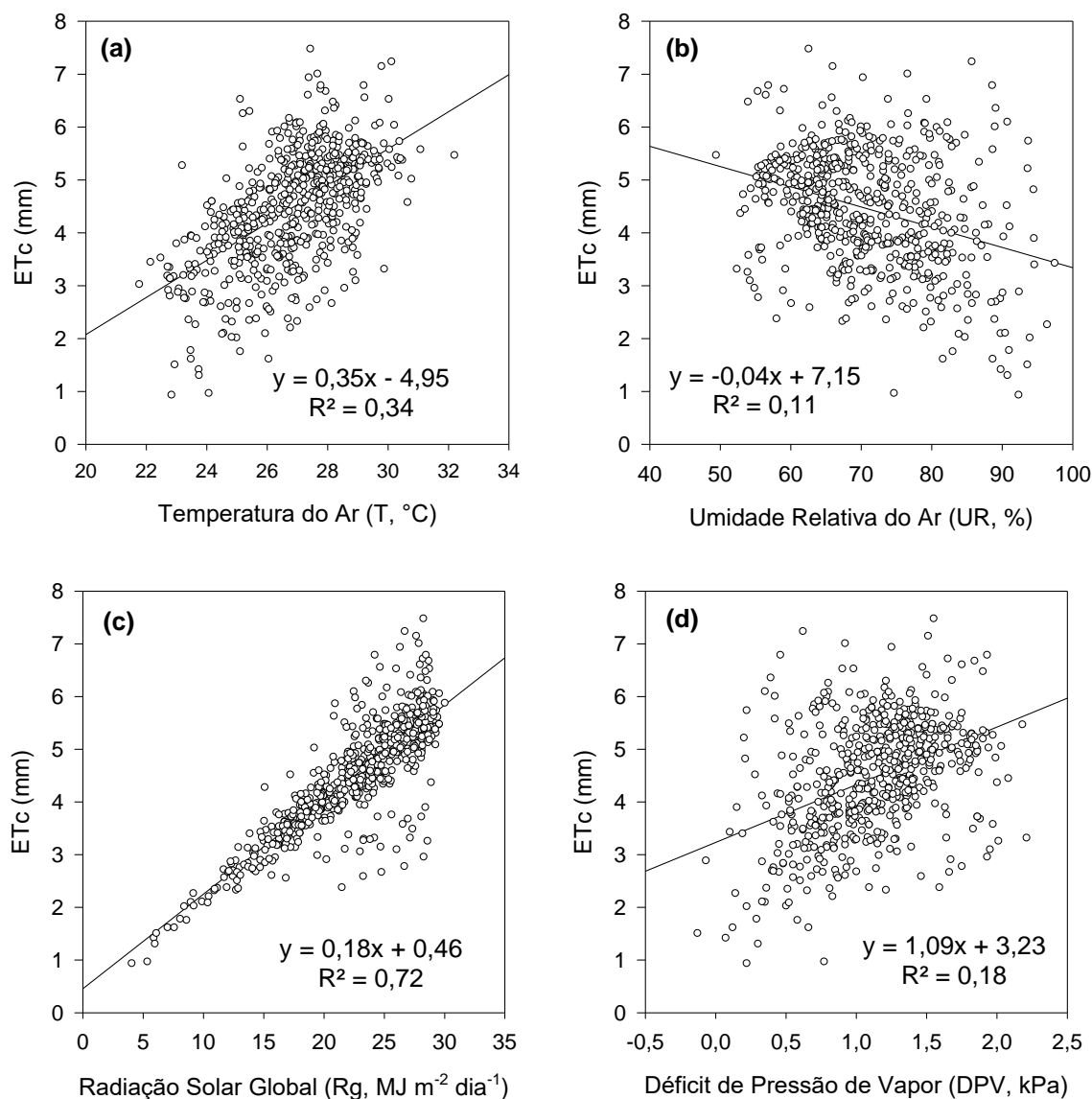
A ET_c variou entre 0,94 e 7,48 mm dia⁻¹, sendo mais baixa no início e final de cada ciclo, que coincide com os meses de maio a julho de cada ano e compreende as fases de crescimento vegetativo e maturação de frutos, seguindo a partição de energia para o fluxo de calor latente que foi menor nessas fases. Dessa forma, A ET_c foi mais alta no último trimestre de cada ano, quando ocorreram as fases de repouso vegetativo e maturação de ramos, a indução floral e o início da floração. Como citado anteriormente, o índice de área foliar da mangueira segue uma curva de variação que se assemelha à curva característica que foi observada para a evapotranspiração da cultura, contudo, a baixa amostragem de avaliações de IAF não permite afirmar tal relação entre ambos os parâmetros. Todavia, o Ciclo I apresentou uma menor ET_c , coincidindo justamente com o ciclo de menor IAF, e o oposto aconteceu para o ciclo seguinte, quando a ET_c foi maior, assim como o IAF.

Nessa curva de variação da evapotranspiração, as variáveis meteorológicas possuem papel importante no comportamento sazonal. A Figura 14 apresenta as variáveis que mais influenciaram a ET_c , com base nos dados diários avaliados no período, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a radiação solar incidente sobre a superfície e o déficit de pressão de vapor d'água. Enquanto o acréscimo nos valores das demais variáveis provocaram efeito positivo sobre os valores de ET_c , a umidade relativa do ar (UR) possuiu um efeito oposto (Figura 14b). Isso porque, considerando condições de alta UR, a pressão de vapor d'água é maior e a saturação impede que mais vapor seja demandado na atmosfera, fazendo que menos água seja transferida. Nesse mesmo sentido, o déficit de pressão de vapor (DPV) tende a ser mais baixo em condições de maior UR, e a ET_c menos intensa, como se vê na Figura 14d. As condições de DPV mais baixas ocorreram na época mais seca e, em condições de disponibilidade de água no solo, permitem que as plantas evapotranspirem mais, por isso a atenção na irrigação durante essa época é imprescindível, a fim de não ocorrer nenhum déficit hídrico na cultura.

Já a temperatura do ar (T_{ar}) aumentando, a evapotranspiração se torna ainda mais intensa (Figura 14a), à medida que mais energia é transferida para as moléculas de água, facilitando a passagem para o estado de vapor. A radiação solar global (R_g) é a variável com maior destaque, com um coeficiente de correlação r igual a 0,85 (Figura 14c). Quanto maior a radiação incidente, mais energia tende a ficar disponível na superfície, e grande parte dela é destinada ao fluxo de calor latente, sendo esse fenômeno bastante evidenciado no contexto desta pesquisa. Vale

destacar que a velocidade do vento auxilia no processo de evapotranspiração, na redução da saturação do ar e aumento do DPV, contudo, houve uma correlação muito fraca entre essas variáveis.

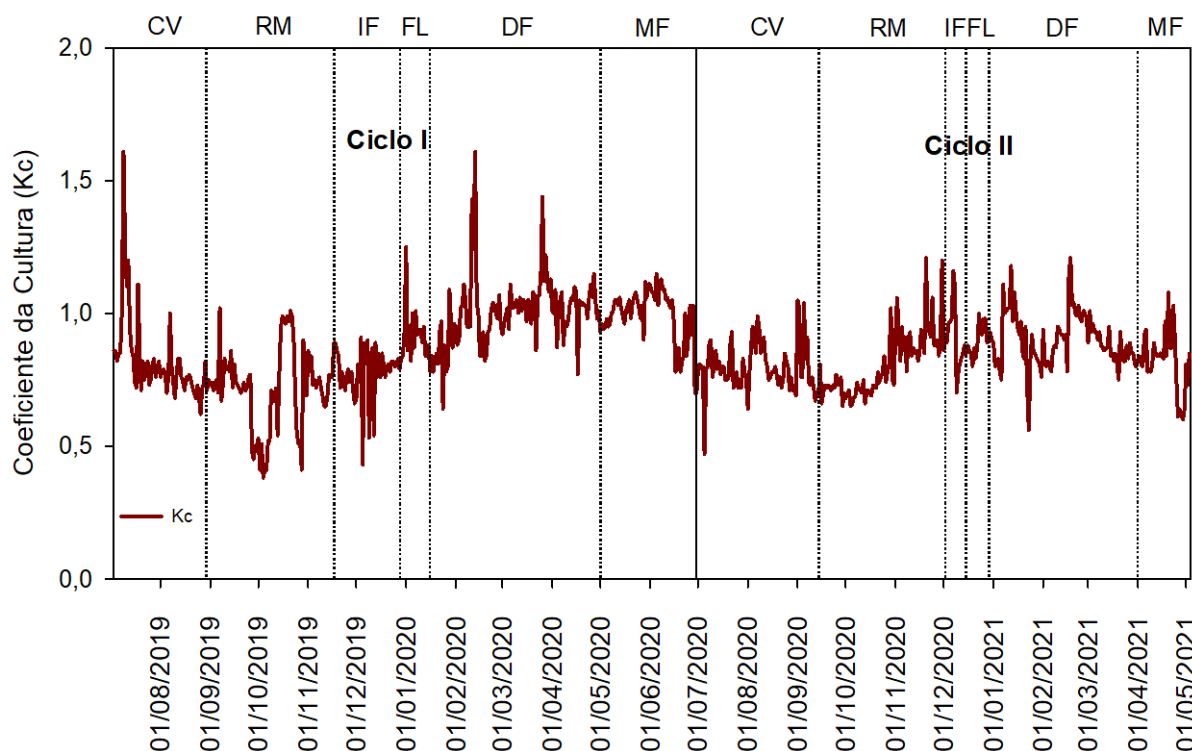
Figura 14. Relação entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e as variáveis meteorológicas em pomar de mangueira 'Palmer', cultivada sob irrigação, ao longo dos ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), em Petrolina-PE



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além das condições ambientais existentes, o desenvolvimento da cultura é outro condicionador da demanda hídrica da cultura, isso pode ser observado com a curva de variação do Kc, em destaque na Figura 15.

Figura 15. Coeficiente da cultura (Kc) da mangueira cv. 'Palmer', cultivada sob irrigação em Petrolina-PE, durante os ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II), considerando as fases fenológicas: CV: Crescimento Vegetativo; RM: Repouso Vegetativo e Maturação de Ramos; IF: Indução Floral; FL: Floração; DF: Desenvolvimento de Frutos e MF: Maturação de Frutos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Entre o crescimento vegetativo e a floração, em ambos os ciclos, a demanda foi baixa, sendo possível observar com mais frequência, na primeira metade de cada ciclo, valores de Kc menores que 1. Já no final de cada ciclo, eleva-se a relação entre a demanda hídrica e a atmosférica, tornando os valores mais próximos de 1, ou maiores, considerando o fato de que nessa fase a cultura depende mais de água para completar o seu desenvolvimento produtivo. Segundo Wei *et al.* (2017), na frutificação a cultura apresenta uma maior dependência de água, especialmente durante as seis primeiras semanas de formação dos frutos, quando o maior déficit hídrico provoca a queda de frutos na fase final, a redução do tamanho e da massa do fruto, com água nas quantidades adequadas, a planta mantém os processos fisiológicos em pleno funcionamento e garante que o sucesso produtivo seja alcançado. A variação do Kc foi semelhante à obtida em trabalhos já desenvolvidos na região com base em outras variedades de mangueira. Sendo próximos, por

exemplo, aos abordados por Teixeira *et al.* (2008b), que estudou a cultivar Tommy Atkins e obteve Kc entre 0,6 e 1,2 durante dois ciclos de produção.

A Tabela 10 apresenta os resultados da evapotranspiração da cultura em médias por fase fenológica e para cada ciclo de cultivo, junto com os valores de evapotranspiração de referência e coeficiente da cultura.

Tabela 10. Evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração de referência (ETo) e coeficiente da cultura (Kc) da mangueira cv. 'Palmer', cultivada sob irrigação em Petrolina-PE, durante os ciclos 2019-2020 (Ciclo I) e 2020-2021 (Ciclo II)

Fases fenológicas	Ciclo I			Ciclo II		
	ETc	ETo	Kc	ETc	ETo	Kc
	mm dia ⁻¹			mm dia ⁻¹		
Crescimento Vegetativo	3,85	4,19	0,82	3,92	4,31	0,80
Repouso Vegetativo e Maturação dos Ramos	4,69	5,93	0,72	4,73	5,43	0,80
Indução Floral	4,87	5,79	0,78	5,40	5,36	0,91
Floração	4,51	4,63	0,91	5,48	5,69	0,89
Desenvolvimento de Frutos	4,44	4,35	1,00	4,75	4,91	0,90
Maturação de Frutos	3,41	3,24	1,00	3,79	4,32	0,82
Média	4,22	4,97	0,88	4,46	5,35	0,84

Os resultados do Ciclo I demonstram, apesar do aumento na ETc, uma queda do valor médio de Kc do crescimento vegetativo (Kc = 0,82), a fase de repouso vegetativo e maturação de ramos (Kc = 0,72). Isso implica que a planta consome menos água do que as condições atmosféricas possibilitam, e que no crescimento vegetativo a planta requer mais água para a emissão de novos fluxos foliares, quando comparado com o repouso vegetativo e a maturação de ramos. O maior consumo de água durante o repouso vegetativo e a maturação de ramos, quando a ETc foi de 4,69 mm dia⁻¹, foi condicionado pelas condições atmosféricas que potencializam a ETc, confirmado por uma maior ETo também nessa fase. É visto um aumento do Kc nas fases seguintes, chegando no desenvolvimento e maturação de frutos com o valor

médio igual a 1,0, refletindo o aumento da demanda hídrica da cultura, se tornando muito próxima da demanda atmosférica.

No Ciclo II, os valores de K_c seguiram um padrão parecido com o período anterior, porém o valor de 0,80 se manteve no crescimento vegetativo e o repouso vegetativo, seguido de um posterior aumento com a indução floral, quando se apresentou mais elevado do que o ciclo anterior ($K_c = 0,91$). Um dos motivos foi as condições de disponibilidade de água no solo, pois apesar da menor aplicação de água pela irrigação, ocorreram chuvas que permitiram a manutenção da umidade do solo, sendo mais elevada nesse período do que no anterior. Outra diferença foi a redução no valor de K_c durante a maturação ($K_c = 0,82$) em relação ao ciclo anterior, que pode estar ligada às mudanças no manejo da cultura, reduzindo o tempo de duração da fase e com condições ambientais distintas, como radiação e disponibilidade de água no solo, que favoreceram a redução.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu o detalhamento do consumo hídrico e a partição de energia para o ciclo de cultivo completo da manga 'Palmer', irrigada na região do Submédio do Vale do São Francisco, sendo obtido uma lâmina de evapotranspiração da cultura de 1445 mm, da fase de crescimento vegetativo até a colheita, com média diária de 4,39 mm dia⁻¹.

Nesse sentido, foi possível observar que a partição dos componentes do balanço de energia, sob tais condições, é destinada especialmente ao fluxo de calor latente (LE), possuindo um valor médio de 72,40% do saldo de radiação (Rn). As fases fenológicas que tiveram os maiores valores de fluxo de calor latente compreenderam os da indução floral até o desenvolvimento de frutos, em virtude das condições mais intensas, principalmente, de radiação e disponibilidade de água, pois foi quando ocorreu o período de chuvas da região, iniciado no mês de novembro.

A eficiência do uso da água no pomar foi baixa, sendo a aplicação de água por irrigação consideravelmente superior à lâmina consumida pela cultura. Os parâmetros de consumo hídrico aqui obtidos reforçam os dados já disponíveis na literatura para a cultura da mangueira e agregam novos valores de referência para a produção irrigada da cultivar 'Palmer', sob condições semelhantes às estudadas. Com esses dados é possível criar estratégias de manejo na irrigação, a fim de reduzir a aplicação de água e manter as altas produtividades que já fazem parte do cenário atual da mangicultura. Além disso, com a expansão de áreas de fruticultura irrigada, a condução de uma irrigação mais eficiente e precisa permite um maior desenvolvimento sustentável nesse setor.

REFERÊNCIAS

- AGROSAT/MAPA. Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2021. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: 11/01/2022.
- AHRENS, C. D; HENSON, R. **Essentials of meteorology: An invitation to the atmosphere**. Cengage Learning, ed. 8^a. 2016.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration--guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper**, Roma, v.56. 326 p. FAO, 1998.
- ALMEIDA, E. V.; FERNANDES, F. M.; BOLIANI, A. C. Distribuição do sistema radicular do porta-enxerto coquinho sob copa da mangueira cv. Haden. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 798-804, 2009.
- ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, E. S.; LIMA, D. F.; BARRETO, J. A. S.; SANTOS, D. P. & DOS SANTOS, M. A. L. Determinação do coeficiente de cultivo para a cultura do rabanete através de lisimetria de drenagem. **Irriga**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 194-203, 2017.
- ALVES, L. E. R.; GOMES, H. B.; SANTOS, M. N. & FREITAS, I. G. F. Balanço de radiação através do satélite Landsat-8 na bacia do Rio Pajeú. **Revista do Departamento de Geografia**, [S.l.], v. 33, p. 117-127, 2017.
- AN, N.; HEMMATI, S.; CUI, Y-J. Assessment of the methods for determining net radiation at different time-scales of meteorological variables. **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 239-246, 2017.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI & FRUTI**. CARVALHO, Cleonice. (ed) *et al.* Editora Gazeta Santa Cruz, 2020. Disponível em:<https://www.editoragazeta.com.br/anuariobrasileiro-de-horti-fruti-2020/>. Acesso em: 02/02/2022.
- ARAÚJO, E. F. J.; SIMÕES, W. L.; SOUZA, M. A.; ALBERTO, K. D. C. & SILVA, W. O. Aprimoramento da aplicação de paclobutrazol via sistema de irrigação para a indução floral da mangueira Palmer. Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In*: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 12., 2017, Petrolina. **Anais** [...] Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017.
- AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R.; BASSOI, L. H. & SOARES, J. M. Evapotranspiração de um pomar de mangueiras irrigadas na região do Submédio São Francisco. Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais** [...] Rio de Janeiro: SBMET, 2000.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. **Agricultural water management**, [S.l.], v. 58, n. 3, p. 241-254, 2003.

BARBOSA, L. F. S.; CAVALCANTE, Í. H. L.; LIMA, A. M. N. Physiological disorders and fruit yield of mango cv. Palmer associated to boron nutrition: boron fertilizing management. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 38, n. 1, p. 1-9, 2016.

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

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. ed. 9ª. p. 545. Viçosa: UFV, 2019.

BORGES, C. J. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J.H. B. C. Evapotranspiração da mangueira irrigada na região submédica do Rio São Francisco utilizando a razão de Bowen. **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 15. Aracaju, Sergipe. 2007.

BORGES, C. J.; AZEVEDO, P. V. D.; SILVA, V. D. P.; CAMPOS, J. H. D. C.; MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M.; SILVA, B. B. D. Influência do calor armazenado no sistema solo-planta no balanço de energia em pomar de mangueiras. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, [S.l.], v. 12, p. 393-399, 2008.

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

BROTZGE, J. A.; CRAWFORD, K. C. Examination of the surface energy budget: a comparison of eddy correlation and bowen ratio measurement systems. **Journal of Hydrometeorology**, Boston, v. 4, p. 160-178, 2003.

BRUNET, Y. Turbulent Flow in Plant Canopies: Historical Perspective and Overview. **Boundary-Layer Meteorology**, [S.l.], v. 177, n. 2, p. 315-364, 2020.

CAMPOS, J. H. B. C.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; BORGES, C. J.; SOARES, J. M.; MOURA, M. S. & SILVA, B. B. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, [S.l.], v. 12, p. 150-156, 2008.

CARMO, J. F. A.; MOURA, M. S. B.; GUIMARÃES, A. P. C. Duração do brilho solar obtido por diferentes sensores. Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 19., 2015, Lavras. **Anais [...]** Lavras: UFLA, 2015.

CARVALHO, C. I. F. S.; LIMA, A. M. N.; LOBO, J. T.; MUDO, L. E. D. & SANTOS, A. S. Estenoespermocarpia em frutos de mangueira e a relação com a nutrição de boro. **Meio Ambiente (Brasil)**, [S.l.], v. 2, n. 3, 2020.

CARVALHO, H. F. S.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F. Fluxos de radiação e energia em caatinga preservada e cana-de-açúcar no Semiárido. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.l.], v. 33, p. 452-458, 2018.

CHATZIVAGIANNIS, M. A.; SÃO JOSÉ, A. B.; BOMFIM, M. P.; OLIVEIRA JUNIOR, M. X.; REBOUÇAS, T. N. H. Florescimento e produtividade de mangueira 'Boubon', 'Palmer' e 'Rosa' com uso de paclobutrazol. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, Hermosillo, v. 15, n. 1, p. 41-47, 2014.

COELHO, E. F.; BATISTA, L. S.; ALVES, A. A. C. Flowering and fruit set of mango in different doses of paclobutrazol (PBZ). **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia: Centro Científico Conhecer, v.10, n.19; p.1117, 2014.

COELHO, E. F.; SANTOS, D. L.; SIMOES, W. L. Irrigação de fruteiras tropicais (abacaxizeiro, bananeira, mamoeiro e mangueira). **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro técnico**. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (Ed.). Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura. Piracicaba: ESALQ-USP, 2021.

DAVENPORT, T. L. Reproductive physiology of mango. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 4, p. 363-376, 2009.

EMBRAPA SEMIÁRIDO. Dados meteorológicos. **EMBRAPA/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2015. Disponível em: <http://www.cpsa.embrapa.br:8080/index.php?op=eabeb>. Acesso em: 20/08/2022.

ESPÍNOLA SOBRINHO, J. **Influência do tipo de arquitetura do dossel na absorção de radiação solar, na produtividade e na quantidade do fruto da mangueira**. 2003. 258 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2003.

FAO, 2019. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 21/01/2022.

FIGUEIRÊDO, V. B.; SIMÕES, W. L.; BATISTA, R. O.; ANDRADE, V. P. M. & MOUCO, M. A. C. Produção e pós-colheita da mangueira "Keitt" submetida a lâminas de irrigação no semiárido nordestino. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, [S.l.], v. 9, n. 1-3, p. 12-22, 2020.

FLORI, J. E. & RESENDE, G. M. Mercado e comercialização. **Sistema Orgânico de Produção de Manga para a Região da Chapada Diamantina, Bahia**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura – Sistemas de produção, 2020.

FOKEN, T. **Micrometeorology**. Berlin: Springer, ed. 2, 2017.

FONSECA, N.; PADUA, T. R. P.; LEDO, C. D. S. & VIEIRA, R. Desempenho agrônômico de variedades de mangueira em cultivo orgânico na Chapada Diamantina na Bahia. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2020.

FREITAS, F. T. O.; COELHO, E.; VIEIRA, R. & de PAULA, F. O. Níveis e tempo de estresse hídrico para a Mangueira Ubá na CHAPADA diamantina, BA. Embrapa Mandioca e Fruticultura-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA*, 20; SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 5. **Anais [...]** Juazeiro, BA. 2017.

GOPU, B.; BALAMOHAN, T. N.; SOMAN, P. & JEYAKUMAR, P. Canopy Management in Mango (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso with reference to Growth and Physiological Characters under Ultra High-Density Planting. **Madras Agricultural Journal**, [S.l.], v. 101, p. 396-400, 2014.

GUERRA, H. G. **Tecnologia De Produção Na Cultura Da Manga**. Clube de Autores, 2020.

HEILMAN J. L.; BRITTIN, C. L.; NEALE, C. M. U. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 44, p. 261–273, 1989.

IBGE, 2020. PAM - Produção Agrícola Municipal. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 16/02/2022.

LIMA FILHO, J. M.; ASSIS, J.; TEIXEIRA, A.; CUNHA, G. & CASTRO NETO, M. T. Ecofisiologia *In: GENU, PJ de C.; PINTO, CA de Q. (Ed.) A cultura da mangueira. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica*, p. 243-257, 2002.

LIMA, J. R. F.; ALMEIDA, G. V. B.; ARAUJO, JLP. Mercado de manga: tendências e desafios para o Vale do São Francisco. *In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA*, 26., 2019, Juazeiro, BA/Petrolina, PE. **Anais [...]** Petrolina: Embrapa Semiárido: UNIVASF: SBF, 2019., 2019.

LIMA, J. R. F.; ALMEIDA, G. V. B.; PEREIRA, A. & ARAÚJO JÚNIOR, J. N. Análise do mercado de manga produzida no Vale do São Francisco: cenário atual e perspectivas para o curto prazo. *In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL DO REGIONAL NORDESTE*, 13., 2018, Juazeiro, BA. **Anais [...]** Juazeiro: UNIVASF: SOBER-NE, 2018.

LIMA, J. R. F.; YURI, J. E.; MOUCO, M. D. C.; LEAO, P. D. S. & COSTA-LIMA, T. C. Menos área cultivada, mais tecnologia na fruticultura de exportação: uva, manga e melão. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro técnico. In: TELHADO, S. F. P. e; CAPDEVILLE, G. de (Ed.). Tecnologias poupa-terra 2021. Brasília, DF: Embrapa**, 2021.

LIN, K. M.; JUANG, J. Y.; SHIU, Y. W. & CHANG, L. F. W. 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**, [S.l.], v. 55, n. 4, p. 1041-1048, 2016.

LOPES, P. M. O.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R.; TEIXEIRA, A. D. C.; SOARES, J. M. & ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Balanço de energia num pomar de mangueiras irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2001.

MARIN, F. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. 2003. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003.

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; VIANA, M. A.; SILVA, V. P. Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco – Brazil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 3, 2018.

MOUCO, M. A. C. Cultivo da mangueira. **Embrapa Semiárido-Sistema de Produção (INFOTECA-E)**, ed. 2ª. 2010.

MOUCO, M. A. C. **Manejo da floração de mangueiras no semi-árido do nordeste brasileiro com inibidores da síntese de giberelinas**. 2008. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, SP, 2008.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. D. L.; SOUZA, L. D.; SÁ, I. D. S. & DA SILVA, T. G. F. Clima e água de chuva no Semi-Árido. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. (Ed.). Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007.

MOURA, M. S. B.; OLIVEIRA, L. D. S.; EVANGELISTA, S. R. M.; MOUCO, M. D. C.; SOUZA, L. S. B. & SILVA, T. D. Aptidão climática da mangueira frente ao clima atual e aos cenários futuros. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, p. 496-509, 2015.

OLIVEIRA, G. P. **Indução floral da mangueira 'Ubá' na zona da mata de Minas Gerais**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2015.

OLIVEIRA, G. P. Uso do paclobutrazol na produção de manga. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 7, p. 1-16. 2020.

ORTEGA-FARIAS, S. O.; CUENCA, R. H.; EK, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 81, p. 131–143, 1996.

PALMIERI, F. G. Análise da produção de manga no Brasil e exterior, e perspectivas de mercado. **Feira Nacional da Agricultura Irrigada (FENAGRI)**, 27. Juazeiro, BA, 2018.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBANEZ, M. & ROSELL, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, n. 3, p. 141-150, 1999.

RAJAN, S. Mango: The King of Fruits. *In: The Mango Genome*. Springer, Cham, p. 1-11, 2021.

SANKARAN, M.; DINESH, M. R.; ABIRAMI, K. & MURUGAN, C. Botany of Mango. *In: The Mango Genome*. Springer, Cham, p. 13-30, 2021.

SANTIAGO, E. J. P. Caracterização de altas temperaturas e identificação de épocas suscetíveis à estenoespermocarpia em mangas Palmer. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 7, 2020.

SENA, F. H. S.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, N. P.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, K. M. J.; MATRANGOLO, C. A. R. & BRITO, C. F. B. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em pomares de mangueira no semiárido mineiro. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 5, p. 500-505, 2019.

SILVA, E. G.; FERREIRA, M. D. S.; SOUZA, M. & SILVA, D. Avaliação da concentração foliar de nutrientes em mangueiras Palmer cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco. *In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. *In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO*, 14. **Anais [...]** Petrolina, PE. 2019a.

SILVA FILHO, A.; BIURDES, M. S.; MACHADO, N. G.; QUERINO, C. A. S. & ALMEIDA JÚNIOR, E. S. Estimativa do balanço de energia pelo método da razão de Bowen a partir de medidas de protótipo de estação micrometeorológica. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.I.], v. 24, 2019.

SILVA, J. S.; CAMPECHE, L. F. D. S. M.; BARBOSA, D. F.; LIRA, R. M.; BARNABÉ, J. M. C. & SOUZA, D. H. S. Estimativa da evapotranspiração da cultura da mangueira no Vale do São Francisco| Estimation of the mango crop evapotranspiration in the São Francisco Valley. **Revista Geama**, [S.I.], p. 128-140, 2015.

SILVA, M. J. **Evapotranspiração e coeficiente da cultura da mangueira 'Kent' cultivada no Submédio do Vale do São Francisco**. 2019. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, BA, 2019.

SILVA, T. G. F. D.; SOUZA, C. A. A. D.; MOURA, M. S. B. D.; MARIN, F. R.; CARVALHO, H. F. D. S.; LEITÃO, M. D. M. V. B. R. & GALVÍNCIO, J. D. Balanço de energia, emissão foliar e eficiência do uso da radiação pela cana-de-açúcar em cultivo sem e com palhada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.I.], v. 34, p. 69-78, 2019b.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; BASSOI, L.; TEIXEIRA, A. D. C.; SOARES, J. M. & ESPINOLA SOBRINHO, J. Coeficiente de cultura e produtividade da mangueira irrigada. *In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso*

(ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11. **Anais [...]** Rio de Janeiro. 2000.

SIMÕES, W. L.; ANDRADE, V. P.; MOUCO, M. A.; SILVA, J. S. Produção e qualidade da mangueira 'kent' (mangifera indica L.) submetida a diferentes lâminas de irrigação no semiárido nordestino. **RAMA - Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v.14, n. 2, p.1-11, 2021.

SIMÕES, W. L.; FERREIRA, P. P. B.; MOUCO, M. A. C.; LIMA, M. A. C.; GUIMARÃES, M. J. M. & SILVA, J. A. B. Produção e respostas fisiológicas da mangueira cv. Keitt sob diferentes sistemas de irrigação no Submédio do São Francisco. **Irriga**, [S.I.], v. 23, n. 1, p. 34-43, 2018.

SIMÕES, W. L.; MOUCO, M. D. C.; LEITE, E. W. S.; SILVA, D. J.; SILVA, J. S. & TORRES JÚNIOR, V. G. Produção da manga Palmer submetida a aplicação de cálcio marinho. In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 5.; CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 28.; SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SALINIDADE, 1. Fortaleza, CE. **Anais [...]** 2019.

SOUSA, C. A. F.; CAVALCANTI, M. I. L. G.; SOUSA, H. U.; VASCONCELOS, L. F. L. & SILVA, J. A. L. Crescimento e produção de frutos em mangueira" Tommy Atkins" sob diferentes densidades populacionais. **Embrapa Meio-Norte-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2008.

SOUZA, A. D. **Influência de reguladores vegetais em Pleuroprucha asthenaria walker (Lepidoptera: Geometridae) na cultura da mangueira**. 2018. 29 f. Monografia (Graduação em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina, PE, 2018.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B., SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8. n. 1, 2015.

SOUZA, M. A.; SIMÕES, W. L.; MESQUITA, A. C.; MOUCO, M. A. C.; CAVALCANTE, B. L. S. & GUIMARÃES, M. J. M. Manejo da quimigação para indução floral da mangueira 'Palmer' no submédio do Vale do São Francisco. **Irriga**, [S.I.], v. 23, n. 3, p. 442-453, 2018a.

SOUZA, P. J. D. O. P. D.; RODRIGUES, J. C.; SOUSA, A. M. L. D.; & SOUZA, E. B. D. Diurnal Energy Balance in a Mango Orchard in the Northeast of Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.I.], v. 33, n. 3, p. 537-546, 2018b.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; MOURA, M. S. B.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, [S.I.], v. 362, p. 110-127, 2008a.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M.; AHMAD, M. U. D. & BOS, M. G. Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil. **Agricultural and forest meteorology**, Amsterdam, v. 148, n. 10, p. 1524-1537, 2008b.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSSEN, W. G. M. Uso do sensoriamento remoto para a determinação da produtividade de água no Submédio São Francisco. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal: INPE, p. 4913-4920, 2009.

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

TEIXEIRA, J. C.; COELHO, E. F.; OLIVEIRA, P. M.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, T. S. M. & GOMES FILHO, O. Manejo de água da mangueira Palmer com uso de regulação de déficit de irrigação nas condições do Norte De minas. *In*: Embrapa Mandioca e Fruticultura-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 22., 2012, Bento Gonçalves. **Anais [...]** 2012.

TORRES, A. P. **Ácidos orgânicos na nutrição, produtividade e qualidade de frutos de mangueira cv. Palmer no Vale do São Francisco**. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, PE, 2019.

VALADARES, G. M.; LANDAU, E. C. Evolução da produção de manga (*Mangifera indica*, Anacardiaceae). **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2020.

VERMA, S. B.; ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. **Journal of Applied Meteorology (1962-1982)**, [S.I.], p. 330-338, 1978.

VITALE, A. J.; GENCHI, S. A.; PICCOLO, M. C. Assessing the surface radiation balance and associated components in an intertidal wetland. **Journal of Coastal Research**, [S.I.], v. 35, n. 1, p. 158-164, 2019.

WEI, J.; LIU, G.; LIU, D.; CHEN, Y. Influence of irrigation during the growth stage on yield and quality in mango (*Mangifera indica* L.). **PLoS ONE**, San Francisco, v. 12, n. 4, 2017.

ZUAZO, V. H. D.; PLEGUEZUELO, C. R. R.; RUIZ, B. G.; GORDILLO, S. G. & GARCÍA-TEJERO, I. F. Water use and fruit yield of mango (*Mangifera indica* L.) grown in a subtropical Mediterranean climate. **International Journal of Fruit Science**, [S.I.], v. 19, n. 2, p. 136-150, 2019.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Material Suplementar 1 (MS1)

ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Amostra
Propriedade: Fazenda Andorinhas

Município: Petrolina

Estado: Pernambuco

Cultura: Manga

Variedade: Palmer

Profundidade: 0 – 30 cm

Coleta: 05/12/2019

M.O.	P-M-1	P-res.	S-SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	T
g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³							
8,1	19,8	5,1	12,5	6,15	0,54	0,09	0,04	6,81	0,00	0,34	7,15

m	V	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	P-rem.	C.E.	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	B	Ca ²⁺
%				mg L ⁻¹	dS m ⁻¹	mg dm ⁻³				mmol _c L ⁻¹	
0,0	95,27	**	6,6	**	0,50	10,8	14,5	1,5	32,4	2,1	**

Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Relação entre bases				Saturação (%)			
mmol _c L ⁻¹			Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K	Ca	Mg	K	Na
**	**	**	11,4	71,8	6,3	78,1	86,0	7,5	1,2	0,5

M.O.: Matéria orgânica do solo (método da mufla)

P-M-1: Fósforo - extrator mehlich-1

P-res.: Fósforo método resina

SB: Soma de bases trocáveis

T: Capacidade troca catiônica

m: Índice de saturação por alumínio

V: Índice de saturação por bases

P-rem.: Fósforo remanescente

C.E.: Condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação

ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Amostra**Propriedade:** Fazenda Andorinhas**Município:** Petrolina**Estado:** Pernambuco**Cultura:** Manga**Variedade:** Palmer**Profundidade:** 0 – 30 cm**Coleta:** 19/11/2020

M.O.	P-M-1	P-res.	S-SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	T
g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³							
7,3	44,8	4,8	3,1	2,4	0,52	0,07	0,20	3,19	0,00	0,31	3,50

M	V	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	P-rem.	C.E.	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	B	Ca ²⁺
%				mg L ⁻¹	dS m ⁻¹	mg dm ⁻³				mmol _c L ⁻¹	
0,0	91,04	**	5,8	**	0,39	29,2	26,6	2,0	34,0	0,27	**

Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Relação entre bases				Saturação (%)			
mmol _c L ⁻¹			Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K	Ca	Mg	K	Na
**	**	**	4,6	34,6	7,5	42,0	68,4	14,8	2,0	5,8

M.O.: Matéria orgânica do solo (método da mufla)

P-M-1: Fósforo - extrator mehlich-1

P-res.: Fósforo método resina

SB: Soma de bases trocáveis

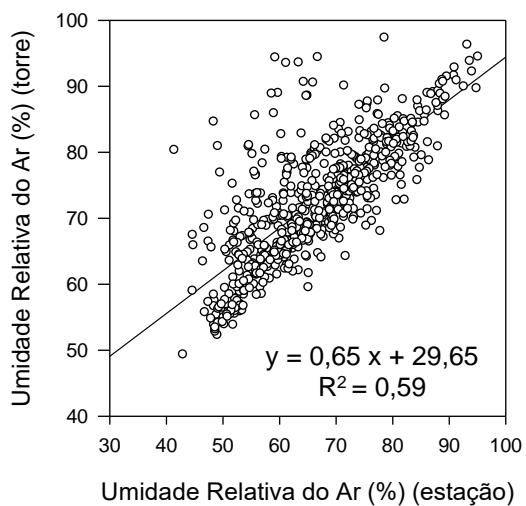
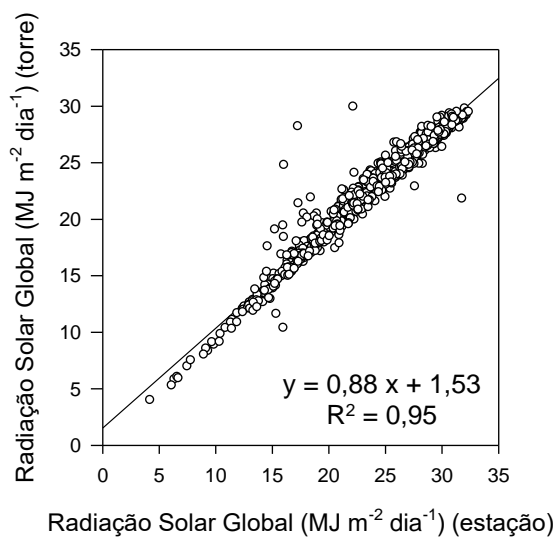
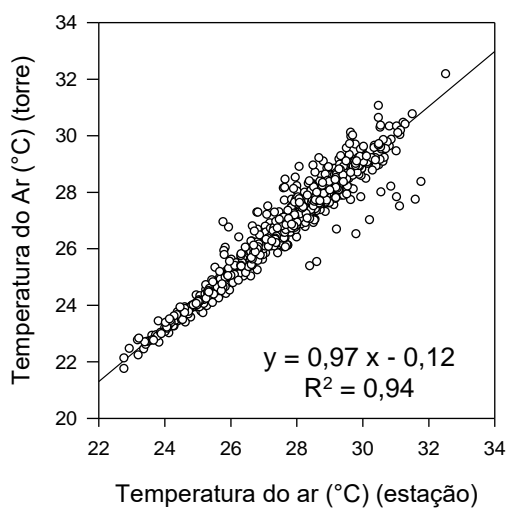
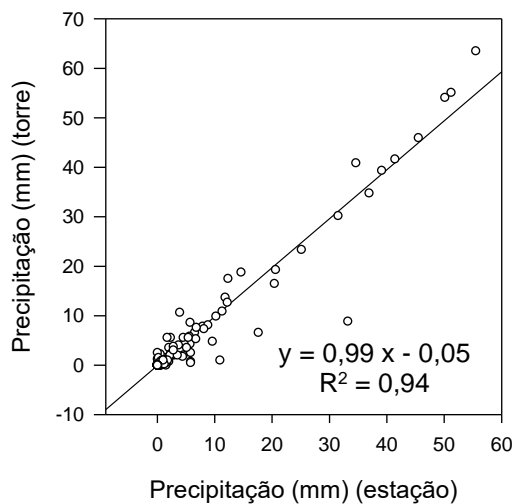
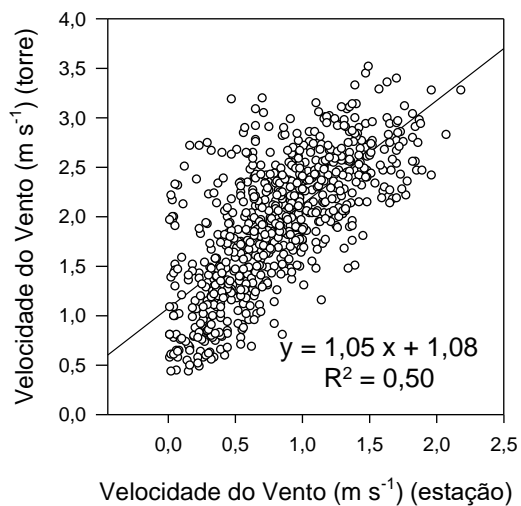
T: Capacidade troca catiônica

m: Índice de saturação por alumínio

V: Índice de saturação por bases

P-rem.: Fósforo remanescente

C.E.: Condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação

Material Suplementar 2 (MS2)**Correlações entre as variáveis medidas na torre micrometeorológica e na estação agrometeorológica**

Material Suplementar 3 (MS3)

Médias mensais das condições ambientais

Meses	V	T	UR	DPV	P*	US 40 cm	US 70 cm
	m s ⁻¹	°C	%	kPa	mm	cm ³ cm ⁻³	
Junho/2019	2,13	24,73	78,65	0,76	6,59	0,142	0,090
Julho/2019	2,33	24,26	72,50	0,93	1,52	0,151	0,095
Agosto/2019	2,43	24,47	69,88	1,04	0,51	0,146	0,094
Setembro/2019	2,32	26,59	64,49	1,37	0,25	0,123	0,082
Outubro/2019	2,19	27,78	60,43	1,61	4,83	0,137	0,086
Novembro/2019	2,13	28,88	64,21	1,43	0,00	0,107	0,062
Dezembro/2019	2,21	28,98	63,57	1,50	47,57	0,082	0,049
Janeiro/2020	1,31	27,33	74,84	0,97	113,24	0,113	0,071
Fevereiro/2020	1,38	27,60	75,87	0,99	46,44	0,095	0,063
Março/2020	1,34	27,28	74,73	1,02	100,14	0,132	0,084
Abril/2020	1,45	26,29	80,92	0,70	86,98	0,133	0,084
Mai/2020	1,97	25,79	79,44	0,73	38,35	0,136	0,091
Junho/2020	2,32	24,27	78,90	0,71	8,64	0,148	0,096
Julho/2020	2,47	23,73	71,63	0,93	0,51	0,146	0,094
Agosto/2020	2,59	24,33	71,81	0,96	1,52	0,150	0,097
Setembro/2020	2,45	25,99	64,81	1,31	0,00	0,148	0,097
Outubro/2020	1,93	28,35	63,83	1,53	1,27	0,134	0,088
Novembro/2020	1,78	26,25	75,12	0,94	158,01	0,137	0,088
Dezembro/2020	1,81	27,59	72,55	1,03	5,33	0,121	0,078
Janeiro/2021	1,73	27,01	69,68	1,16	77,47	0,148	0,095
Fevereiro/2021	1,27	26,53	73,92	1,01	93,22	0,157	0,099
Março/2021	1,72	27,65	68,19	1,20	11,18	0,158	0,100
Abril/2021	1,92	26,98	71,59	1,08	29,21	0,162	0,103
Mai/2021	2,31	25,30	73,40	0,94	0,00	0,166	0,108

* acumulado – somatório mensal.

Material Suplementar 4 (MS4)**Médias mensais dos componentes do balanço de radiação**

Meses	Rg	Rr	Ra	Rs	α
	MJ m ⁻²				%
Junho/2019	17,01	2,85	33,93	38,91	17,32
Julho/2019	18,83	3,07	32,86	38,63	17,31
Agosto/2019	21,01	3,79	32,02	38,74	19,60
Setembro/2019	24,67	4,44	32,58	40,07	19,81
Outubro/2019	25,65	4,59	33,37	40,72	19,44
Novembro/2019	25,84	4,65	33,72	41,28	20,22
Dezembro/2019	25,55	4,61	33,83	41,28	19,95
Janeiro/2020	22,11	3,60	34,90	40,13	17,25
Fevereiro/2020	22,88	3,69	34,77	39,83	16,76
Março/2020	20,15	3,19	35,50	39,68	16,18
Abril/2020	18,79	3,03	35,31	39,51	16,76
Mai/2020	17,02	2,87	34,79	39,37	17,47
Junho/2020	16,39	2,80	33,75	38,45	17,83
Julho/2020	18,03	3,15	32,36	38,22	18,73
Agosto/2020	20,70	3,62	32,01	38,72	18,51
Setembro/2020	24,04	4,41	32,24	39,64	20,13
Outubro/2020	25,58	4,76	33,49	40,80	20,51
Novembro/2020	22,02	3,79	34,57	39,63	18,57
Dezembro/2020	25,21	4,28	33,89	40,32	18,58
Janeiro/2021	21,58	3,54	34,35	39,84	17,40
Fevereiro/2021	22,29	3,57	35,33	39,82	17,02
Março/2021	23,51	4,05	34,52	40,40	18,32
Abril/2021	20,24	3,48	34,95	40,05	17,92
Mai/2021	18,45	3,10	34,15	39,08	17,71

Material Suplementar 5 (MS5)

Médias mensais dos componentes do balanço de energia

Meses	Rn	G	LE	H	β
	MJ m ⁻²				
Junho/2019	11,33	-0,02	8,21	3,14	0,37
Julho/2019	12,46	-0,04	9,26	3,25	0,35
Agosto/2019	13,59	-0,08	9,52	4,16	0,49
Setembro/2019	16,00	-0,09	11,18	4,91	0,48
Outubro/2019	16,79	-0,08	11,18	5,70	1,50
Novembro/2019	16,66	-0,05	12,04	4,67	0,45
Dezembro/2019	16,40	-0,09	11,47	5,02	0,72
Janeiro/2020	15,05	-0,05	11,21	3,93	0,13
Fevereiro/2020	16,05	-0,01	12,10	3,98	0,34
Março/2020	14,61	0,01	10,89	3,73	1,49
Abril/2020	13,22	0,03	9,64	3,59	1,21
Mai/2020	11,47	0,02	8,39	3,08	-0,36
Junho/2020	11,05	-0,06	8,01	3,12	0,70
Julho/2020	11,79	-0,03	7,98	3,86	0,75
Agosto/2020	13,52	-0,07	9,59	4,01	0,35
Setembro/2020	15,56	-0,08	11,24	4,40	0,39
Outubro/2020	16,49	-0,10	12,02	4,58	0,34
Novembro/2020	15,28	-0,13	11,32	4,11	0,28
Dezembro/2020	17,03	-0,17	13,18	4,02	0,39
Janeiro/2021	14,83	-0,18	11,55	3,47	0,46
Fevereiro/2021	15,82	-0,10	11,49	4,46	-1,19
Março/2021	15,81	-0,14	11,39	4,57	0,43
Abril/2021	13,69	-0,14	9,35	4,49	0,62
Mai/2021	12,55	-0,16	9,98	2,73	0,32

Material Suplementar 6 (MS6)**Médias mensais da evapotranspiração e coeficiente da cultura**

Meses	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
Junho/2019	3,37	3,92	0,86
Julho/2019	3,80	4,39	0,88
Agosto/2019	3,90	5,22	0,75
Setembro/2019	4,59	6,43	0,72
Outubro/2019	4,60	6,67	0,69
Novembro/2019	4,96	6,59	0,76
Dezembro/2019	4,73	6,02	0,79
Janeiro/2020	4,61	5,17	0,89
Fevereiro/2020	4,98	5,00	1,01
Março/2020	4,48	4,27	1,05
Abril/2020	3,96	3,90	1,02
Mai/2020	3,45	3,40	1,01
Junho/2020	3,29	3,42	0,97
Julho/2020	3,27	4,19	0,78
Agosto/2020	3,94	4,95	0,80
Setembro/2020	4,62	6,07	0,77
Outubro/2020	4,95	6,77	0,73
Novembro/2020	4,65	5,12	0,92
Dezembro/2020	5,42	6,03	0,90
Janeiro/2021	4,75	5,26	0,89
Fevereiro/2021	4,72	5,09	0,94
Março/2021	4,69	5,38	0,87
Abril/2021	3,84	4,74	0,82
Mai/2021	4,10	4,05	0,80