

BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA, EXIGÊNCIA TÉRMICA,  
PRODUTIVIDADE E ÍNDICE HÍDRICO DO CAFÉ CONILON NO  
NORTE FLUMINENSE

**MATEUS PEIXOTO PIRES**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO – 2024

BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA, EXIGÊNCIA TÉRMICA,  
PRODUTIVIDADE E ÍNDICE HÍDRICO DO CAFÉ CONILON NO  
NORTE FLUMINENSE

**MATEUS PEIXOTO PIRES**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. D.Sc. José Carlos Mendonça

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO –2024

**FICHA CATALOGRÁFICA**

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

P667

Pires, Mateus Peixoto.

BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA, EXIGÊNCIA TÉRMICA, PRODUTIVIDADE E ÍNDICE HÍDRICO DO CAFÉ CONILON NO NORTE FLUMINENSE / Mateus Peixoto Pires. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2024.

93 f. : il.

Bibliografia: 75 - 93.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2024.  
Orientador: José Carlos Mendonça.

1. *Coffea canephora*. 2. Evapotranspiração. 3. Graus-dias. 4. Fluxo de calor. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

BALANÇO DE RADIAÇÃO E DE ENERGIA, EXIGÊNCIA TÉRMICA,  
PRODUTIVIDADE E ÍNDICE HÍDRICO DO CAFÉ CONILON  
NO NORTE FLUMINENSE

MATEUS PEIXOTO PIRES

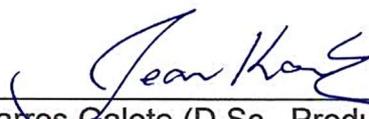
Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 5 de março de 2024.

Comissão Examinadora



Prof. Elias Fernandes de Sousa (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF



Jean Karlos Barros Galote (D.Sc., Produção Vegetal) - INCAPER

Documento assinado digitalmente

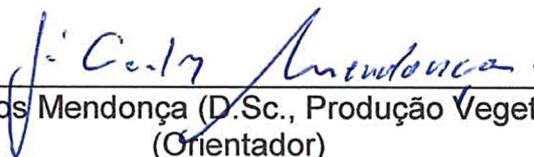


THIERES GEORGE FREIRE DA SILVA

Data: 08/03/2024 04:15:22-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Thieres George Freire da Silva (D.Sc., Meteorologia Aplicada) - UFRPE



Prof. José Carlos Mendonça (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, Pai de bondade, que torna até mesmo as coisas impossíveis em realidade, por me conceder a força necessária para seguir essa jornada e por tantas bênçãos alcançadas;

A meus pais, Socorro Guedes e Valmir da Silva, minha base, por sempre me colocarem como prioridade e sempre deram o máximo pela nossa família, por todo amor, cuidados e amparo que sempre me ofereceram;

À minha irmã, Vitória Peixoto, minha melhor amiga desde sempre, pelo apoio, pelas conversas e por, assim como meus pais, sempre se fazer presente na minha vida mesmo à distância;

Aos demais familiares que sempre acreditaram em mim e me incentivaram com gestos e palavras;

Aos meus velhos amigos do Pará pelo apoio, pelas conversas, pela recepção que me ofereciam todas as vezes que volta a casa. E também aos novos amigos de Campos dos Goytacazes, por deixarem essa jornada mais leve e divertida, além de toda ajuda que sempre me ofereceram;

À minha namorada e futura esposa Esther por me motivar, incentivar com todo o carinho, mesmo com tanto tempo distante, por cada palavra e ato que fez por mim, para que me sentisse amado e por cada momento incrível que me proporcionou quando estávamos juntos ou separados;

Ao Prof. José Carlos Mendonça pela orientação, ensinamentos, pela parceria, por ter sido um grande mestre e mentor durante essa caminhada na pós-graduação.

Também aos demais docentes da Produção Vegetal, por todo conhecimento repassado;

À coordenação da Produção Vegetal, em especial à prof<sup>a</sup> Daniela Barros, que sempre se mostrou disposta a resolver qualquer questão, oferecendo sempre amparo e tirando dúvidas. Aos demais servidores da UENF, sem os quais a Universidade não teria a estrutura para desempenhar sua função acadêmica;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pela oportunidade de cursar a Pós-Graduação em Produção Vegetal e pelos recursos disponibilizados;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) –, código de financiamento 001, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro necessário a execução desta pesquisa;

A todos os demais que contribuíram na minha vida acadêmica e profissional;  
Meu muito obrigado!

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

$\alpha$ : Albedo

$\beta$ : Razão de Bowen

$\beta_L$ : Coeficiente térmico

$\Delta$ : Declividade da curva de pressão de vapor

$\delta\Delta_e$ : Limite de resolução para o gradiente de pressão de vapor

$\delta\Delta_T$ : Limite de resolução para o gradiente de temperatura

$\Delta_e$ : Diferença da pressão de vapor do ar 0,5 m e 2,0 m acima da copa

$\Delta T$ : Diferença da temperatura do ar 0,5 m e 2,0 m acima da copa

$\varepsilon$ : Emissividade da superfície

$\lambda$ : Calor latente de vaporização da água

$\Upsilon$ : Parâmetro psicrométrico

$\lambda_L$ : Coeficiente de troca de onda longa

BOC: Balanço de ondas curtas

BOL: Balanço de ondas longas

$C_p$ : Calor específico do ar à pressão constante

$e_a$ : Pressão de vapor do ar

$ET_0$ : Evapotranspiração de referência

$ET_c$ : Evapotranspiração da cultura

$e_s$ : Pressão de saturação do ar

G: Fluxo de calor no solo

GD: Grau-dia

H: Fluxo de calor sensível  
IAF: Índice de área foliar  
Kc: Coeficiente da cultura  
Kt: Transmissividade atmosférica  
La :Radiação atmosférica incidente na superfície  
LE: Fluxo de calor latente  
Ls: Radiação emitida pela superfície  
MF: Massa dos frutos frescos  
MG: Massa dos grãos  
MS: Massa seca dos frutos  
P: Pressão atmosférica média local  
PAC: Produtividade da água na cultura  
PEC: Produtividade energética da cultura  
Ro: Radiação solar no topo da atmosfera  
Rg: Radiação solar global  
Rn: Saldo de radiação  
Rr: Radiação solar refletida  
T: Temperatura do ar  
To: Temperatura do ar no ponto de orvalho  
Tmáx: Temperatura diária máxima  
Tmin: Temperatura diária mínima  
Tb: Temperatura basal mínima  
U2: Velocidade média do vento medido a 2,0 m de altura

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
3.1. A CULTURA DO CAFEEIRO .....	5
3.2. RELAÇÕES HÍDRICAS DO CAFEEIRO CONILON .....	6
3.3. BALANÇO DE RADIAÇÃO .....	8
3.4. BALANÇO DE ENERGIA.....	9
3.5. BALANÇO DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO CAFEEIRO CONILON .....	10
3.6. NECESSIDADE TÉRMICA .....	12
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
4.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	14
4.2. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	15
4.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS MICROMETEOROLÓGICOS.....	16
4.4. BALANÇO DE RADIAÇÃO .....	17
4.5. BALANÇO DE ENERGIA PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN.....	19
4.6 DETERMINAÇÃO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA POR MEIO DO FLUXO DE CALOR LATENTE .....	22
4.7 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DA CULTURA.....	22
4.8. SOMA TÉRMICA.....	23
4.9 AVALIAÇÕES AGRONÔMICAS .....	24

<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>25</b>
5.1 DADOS METEOROLÓGICOS MENSIS DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	25
5.2 BALANÇO DE RADIAÇÃO .....	32
5.3 RAZÃO DE BOWEN E CONSISTÊNCIA DO MÉTODO.....	42
5.4 BALANÇO DE ENERGIA.....	50
5.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA.....	60
5.6 NECESSIDADE TÉRMICA .....	66
5.7 PRODUTIVIDADE .....	67
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>75</b>

## RESUMO

PIRES, Mateus Peixoto; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Março; 2024; Balanço de radiação e de energia, exigência térmica, produtividade e índice hídrico do Café Conilon no Norte Fluminense; Orientador: D.Sc. José Carlos Mendonça.

O café Conilon representa boa parcela da cafeicultura brasileira e é fundamental o entendimento de como a cultura se relaciona com a energia disponível no ambiente. Devido a isso, buscou-se com este trabalho determinar os componentes do saldo de radiação e do balanço energético da cultura, estabelecer o consumo hídrico e exigência térmica, além de mensurar a produtividade física, hídrica e energética do cafeeiro Conilon na região Norte Fluminense durante sete safras. O experimento foi conduzido em um campo de cultivo na área pertencente à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, RJ, que contém uma estação micrometeorológica que monitorou os dados ambientais entre junho de 2015 a maio de 2022. De posse dessas informações, realizou-se o balanço de radiação e o balanço de energia pelo método da razão de Bowen, que possibilitou determinar a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e o coeficiente da cultura ( $K_c$ ). Os dados de produtividade foram obtidos pelo produto da massa dos frutos frescos e a quebra de massa do produto beneficiado. A exigência térmica da cultura para realização de um ciclo produtivo também foi contabilizada. A radiação global ( $R_g$ ), que varia conforme a estação do ano, foi o principal componente de Balanço de ondas longas (BOL), fator de maior influência na variação da radiação

líquida ( $R_n$ ), uma vez que o BOL apresentou baixas intensidades e variações. Em média o albedo sobre o estande foi de 12% e a fração de  $R_g$  convertida em  $R_n$  foi 64%. O método de balanço de energia pela razão de Bowen teve desempenho satisfatório e indicou que 66% de  $R_n$  foi convertido em LE, 24% em H e 10% em G. A evapotranspiração média da cultura foi de  $3,81 \text{ mm.dia}^{-1}$  e o Kc médio por safra teve tendência de aumento ao longo do experimento e variou de 0,82 a 0,92. O café Conilon apresentou produtividade média de  $3,43 \text{ t.ha}^{-1}$  ( $57,16 \text{ sc.ha}^{-1}$ ). Em média foi produzido 0,28 Kg de café por  $\text{m}^3$  de água e 0,08 g por MJ de energia líquida. Concluiu-se que a região é climaticamente apta ao cultivo, que com o decorrer das safras o consumo hídrico tende a aumentar. Além disso, observou-se que a cada três safras há valores mais elevados da produtividade física, hídrica e energética no café Conilon. Palavras-chave: *Coffea canephora*, evapotranspiração, graus-dias, fluxo de calor.

## **ABSTRACT**

PIRES, Mateus Peixoto, M.Sc.; State University of North Fluminense Darcy Ribeiro; March 2024; Radiation and energy balance, thermal demand, productivity and water index of Conilon coffee in the north of Rio de Janeiro State; Advisor: D.Sc. José Carlos Mendonça.

Conilon coffee represents a large part of Brazilian coffee growing and it is essential to understand how the crop relates to the energy available in the environment. With this in mind, the aim of this study was to determine the components of the crop's radiation balance and energy balance, to establish water consumption and thermal demand, as well as to measure the physical, water and energy productivity of the Conilon coffee tree in the northern region of Rio de Janeiro during seven harvests. The experiment was conducted in a field belonging to the State University of Northern Rio de Janeiro Darcy Ribeiro, in Campos dos Goytacazes, RJ, which contains a micrometeorological station that monitored environmental data between June 2015 and May 2022. With this information, the radiation balance and energy balance were calculated using the Bowen ratio method, which made it possible to determine crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>), reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) and the crop coefficient (K<sub>c</sub>). Yield data was obtained from the product of the mass of the fresh fruit and the mass of the processed product. The crop's thermal requirement for a productive cycle was also taken into account. Global radiation (R<sub>g</sub>), which varies according to the season, was the main component of the Longwave Balance (LWB), the factor with the greatest influence on the variation in net radiation (R<sub>n</sub>), since the LWB showed low intensities and variations. On average, the albedo over the stand was 12% and the fraction of R<sub>g</sub> converted into

Rn was 64%. The Bowen ratio energy balance method performed satisfactorily and indicated that 66% of Rn was converted into LE, 24% into H and 10% into G. The average crop evapotranspiration was 3.81 mm.day<sup>-1</sup> and the average Kc per harvest tended to increase over the course of the experiment and ranged from 0.82 to 0.92. Conilon coffee had an average yield of 3.43 t.ha<sup>-1</sup> (57.16 sc.ha<sup>-1</sup>). On average, 0.28 kg of coffee was produced per m<sup>3</sup> of water and 0.08 g per MJ of net energy. It was concluded that the region is climatically suitable for cultivation and that water consumption tends to increase over the course of the harvests. In addition, it was observed that every three harvests there are higher values of physical, water and energy productivity in Conilon coffee.

Key words: *Coffea canephora*, evapotranspiration, degree days, heat flow.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo da interação dos cafezais com a radiação solar é de suma importância para um melhor entendimento e condução dos cultivos, uma vez que é essa que fornece energia para o processo fotossintético, e ainda modulam vários outros processos fisiológicos vegetais. Ademais, além de ser fonte energética para os vegetais, a energia solar também afeta outras variáveis climáticas como a temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, que por sua vez impactam diretamente a produtividade vegetal (Mares et al., 2021).

Com o uso do balanço de radiação, é possível calcular fluxo de energia solar no ambiente produtivo, por meio do balanço de ondas curtas (BOC) em adição ao balanço de ondas longas (BOL) (Querino et al., 2022). O balanço de energia se fundamenta no princípio da conservação de energia, que nesse caso entra no sistema na forma de radiação. O particionamento desta permite quantificar a assimilação de carbono, temperatura do dossel e a necessidade de água para a cultura em função das fases de seu desenvolvimento, entre outros parâmetros (Veloso et al., 2020; Acharya e Sharma, 2021).

Em sistemas abertos, onde há constante troca de matéria e energia com o meio, o saldo de radiação ( $R_n$ ) é o dividido em fluxo de calor latente (LE), fluxo calor sensível na atmosfera (H) e do fluxo calor no solo (G) (Silva et al., 2019). Alguns métodos micrometeorológicos podem ser utilizados para calcular esses componentes, sendo os mais utilizados o próprio método do Balanço de Energia e a Razão de Bowen

( $\beta$ ) (Pereira et al., 2021; Walls et al., 2020). A  $\beta$  mostra como os processos climáticos e hidrológicos impactam na partição de energia do ecossistema. (Ren et al., 2022).

Por meio da utilização desse método é possível quantificar o fluxo de calor latente, e assim a taxa transpiratória dos cultivos ( $ET_c$ ) de forma menos difícil com o uso de lisímetros, que além de onerosos, também necessitam de manutenção profissional (Xiong et al., 2022). Outra vantagem observada é a possibilidade de aplicação em maiores áreas, e ainda, pode ser aplicado em curta escala de tempo e requer poucos dados de entrada (Souza et al., 2021).

Tais informações são de grande importância no manejo da irrigação, além de auxiliar na tomada de decisão quanto a tratos culturais. Canales-Ide et al. (2019) destacam que a utilização racional da água e uma irrigação eficiente baseia-se, entre outras coisas, no conhecimento adequado da necessidade da cultura, que pode ser obtido pelo produto da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e o coeficiente da cultura ( $K_c$ ). Este último termo é obtido através da relação entre o  $ET_c/ET_0$ , (Niaghi et al., 2019; Souza et al., 2021).

Além de conhecer estes aspectos do cultivo, também é de grande importância relacioná-los ao desenvolvimento morfológico e fisiológico do vegetal. Castaño-Marín et al. (2022) observaram que o  $K_c$  do *Coffea arabica* consorciado com milho (*Zea mays* L.) variou e 0,87, em plantas de até 12 meses, a 0,97 em plantas de 25 a 43 meses após a implantação.

Contudo, medidas relacionadas com fatores ambientais são mais confiáveis que as puramente cronológicas, uma vez que o ambiente influencia diretamente na velocidade e modo do desenvolvimento vegetal (Khairlani et al., 2020). Sendo assim, a soma térmica se mostra com importante ferramenta no planejamento agrícola.

Além da idade, a evapotranspiração e o  $K_c$  também variam conforme o estágio fenológico em que as plantas se encontram (Flumignan et al., 2011). Ademais, alterações climáticas têm grandes influências na evapotranspiração e devido isso, fenômenos climáticos como El Niño e La Niña podem ter grandes impactos no uso de água nas culturas, uma vez que causam alterações climáticas na região da América do Sul (Cai et al., 2020; Li et al., 2020).

No Brasil e no mundo há trabalhos acadêmicos que envolvem o estudo de variáveis atmosféricas e o comportamento fisiológico do cafeeiro (Costa et al., 2019; Angelo et al., 2019; Holwerda e Meesters, 2019). Alguns trabalhos consideram em seus estudos o saldo de radiação do cafeeiro consorciado à outras culturas como

banana (Pezzopane et al., 2005), noqueira macadâmia (Pezzopane et al., 2010), seringueira (Araújo et al., 2016), *Erythrina poeppigiana* (Vezy et al., 2018), dentre outras.

No entanto, há na literatura mais estudos voltados ao café Arábica, em detrimento do café Conilon (Bilen et al., 2023). Ademais, os estudos das necessidades hídricas do Conilon são mais voltados a desenvolvimento e produção em função de lâmina de irrigação que são frações da  $E_{t_0}$ , do que a determinação da necessidade da cultura (Garcia et al., 2022; Schwan et al., 2022). Além disso, a extrapolação de resultados obtidos de balanço de energia deve ser cuidadosa, já que seus resultados dependem de especificidades de clima, de cobertura do solo e características das espécies cultivadas (Pinto et al., 2022).

A cafeicultura é de grande importância econômica na atividade agrícola brasileira, tendo área total plantada no Brasil de aproximadamente 1,9 milhões de hectares em 2023, e destes, 21,41% são da espécie *Coffea canephora* (IBGE, 2024a). O rendimento médio do Conilon teve crescimento 7,5% de 2021 a 2022, quando atingiu  $2.782 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , produtividade 150,86% maior que a de 2016, o que demonstra um grande potencial de crescimento da cultura.

O total colhido do grão de café *Coffea canephora* em 2023 foi de aproximadamente 1,1 milhões toneladas, o que representa 30,74% do total de café colhido no país. Em 2022, a produção de nacional de café Conilon foi cotada em mais de R\$ 12,34 bilhões (IBGE, 2024b).

Esse fato corrobora com a necessidade de estudos que abordem o cafeeiro Conilon na região Norte Fluminense, voltados a explicar, através do fluxo de energia no sistema e o consumo de água da cultura para as condições da região, sobretudo pela necessidade de irrigação para seu bom desenvolvimento (Garcia et al., 2022). Dessa forma, Ren et al. (2022) citam que a compreensão dos elementos climáticos que influenciam os ecossistemas agrícolas possibilita o desenvolvimento sustentável da sociedade.

Assim, espera-se observar variações dos componentes do balanço de radiação, bem como  $ET_c$  e  $K_c$  conforme a fase fenológica dos cafeeiros e com a ocorrência de El Niño e La Niña. Ademais, presume-se que com o avanço da idade do estande, haja o aumento na necessidade hídrica e, conseqüentemente, incremento no  $K_c$ .

## 2.OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar os aspectos energéticos, hídricos e produtivos do cafeeiro Conilon (*Coffea canephora*) em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, tendo como objetivos específicos:

- 1- Determinar o balanço de radiação e de energia sobre a cultura do cafeeiro Conilon a partir de dados de uma estação micrometeorológica;
- 2- Quantificar a evapotranspiração e o  $K_c$  do Café Conilon, bem como determinar a necessidade térmica em cada ciclo produtivo, nas condições edafoclimáticas do Norte Fluminense;
- 3- Quantificar a produtividade do estande e obter a eficiência do uso da água e produtividade energética da cultura.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. A CULTURA DO CAFEIEIRO

Os cafeeiros são plantas que pertencem ao gênero *Coffea*, da família Rubiaceae. Há diversas espécies de café, porém, do ponto de vista econômico, destacam-se as espécies *Coffea arabica* L., *Coffea canephora* Pierre Ex Froehner, e *Coffea liberica* (Davis et al., 2006; Neto et al., 2016; Ferrão et al., 2017).

Assim como o *C. arábica*, o *C. canephora* é originário do continente africano, porém este provém especificamente da região equatorial da bacia do Congo, local caracterizado pelas planícies de florestas de clima tropical (Ferrão et al., 2012; Herrera e Lambot, 2017). A cafeicultura foi trazida para as Américas por holandeses, inicialmente pelo Suriname. No Brasil, a cultura chegou inicialmente no estado do Pará, vindo da Guiana Francesa, e logo se dispersou pelo Maranhão, e posteriormente, para Sudeste e Sul do país (Ferrão et al., 2017; Garcia, 2021).

O cafeeiro Conilon possui ciclo anual e essa característica exerce influência na produtividade e qualidade da cultura no decorrer dos anos de cultivo. Essa característica ocorre em função dos cafeeiros terem como origem, ambientes sombreados, assim em plantios a pleno sol há uma sobrecarga luminosa nas plantas, uma vez que estas são adaptadas a baixas irradiâncias (DaMata, 2004a).

Por outro lado, Araújo et al. (2016) observaram menor produtividade no Conilon sombreado por seringueira (*Hevea brasiliensis*), quando comparado ao cultivo de pleno sol, o que pôde ter sido em função do excesso de sombreamento. Venancio

et al. (2019) destacam que uma produção adequada em plantios sombreados depende do nível de sombra utilizado e da escolha de genótipos adequados para tal.

O *C. canephora* possui porte elevado e arbustivo, multicaules lenhosos, folhas grandes e flores brancas em grande número por inflorescência e por axila foliar. Os frutos apresentam formato e número variável de acordo com o material genético. Apresenta maior resistência às condições ambientais e maior teor de cafeína e sólidos solúveis nos grãos quando comparado ao *Coffea arabica* (Ferrão et al., 2017).

DaMatta et al. (2019) citam que a cafeicultura é uma das mais importantes atividades agrícolas a nível mundial, e uma das *commodities* mais comercializadas, além de ser uma das bebidas mais populares do mundo, sendo consumida por aproximadamente um terço da população mundial.

Estima-se que em 2021 foram produzidas 9,9 milhões de toneladas de café e um movimento de 22,3 bilhões de dólares no comércio internacional. O Brasil, com 2,99 milhões de toneladas colhidas, foi o maior produtor da cultura, seguido do Vietnã e Indonésia, sendo o Brasil o maior exportador mundial, comercializando externamente 2,28 milhões de toneladas, que geram mais de 5,8 bilhões de dólares em receita (FAOSTAT, 2023).

No conexo das mudanças climáticas que vêm ocorrendo, espera-se que ocorram mudanças na aptidão de locais para cafeicultura. Por apresentar maior rusticidade quanto a aspectos climáticos, há a tendência de que o *C. canephora* seja cultivado em áreas antes cultivadas com café arábica (Bilen et al., 2023). Contudo, ainda deve-se buscar entender melhor a resposta do café Conilon a variações climáticas, sobretudo quanto a mudanças de temperatura (Kath et al., 2020).

### 3.2. RELAÇÕES HÍDRICAS DO CAFEEIRO CONILON

Em relação às necessidades hídricas do cafeeiro Conilon, são consideradas áreas com características favoráveis ao plantio, com altitude inferior a 500 metros, sem impedimentos pedológicos, com déficit hídrico anual inferior 350 mm (Rodrigues et al., 2012). O café Conilon apresenta um bom desenvolvimento vegetativo e produtividade quando cultivada em regiões sem grandes variações de temperatura, com médias anuais entre 22 e 26°C e precipitação anual em torno de 1200 mm (Partelli et al., 2013; DaMatta et al., 2018).

Já Eugenio et al. (2014), dizem que a faixa ideal para o Conilon no Brasil é de 22,5°C a 24°C de média anual. Davis et al. (2021) obtiveram que as áreas de

ocorrência natural de *C. canephora* possuem em média 23,7°C de temperatura e precipitação de 1.596 mm anuais, o que indica que essas são as condições ótimas para a espécie.

De forma geral, variações na temperatura do ar e baixos volumes de chuva exercem grande influência no florescimento e na frutificação, sobretudo para o cafeeiro Conilon, que pode apresentar mais de um momento de floração por ano (Covre et al., 2022).

As respostas dos estômatos às variações na umidade relativa do ar na atmosfera têm consequências importantes quanto à capacidade da planta suportar períodos relativamente longos de déficit hídrico no solo associados às condições de alta demanda evaporativa na atmosfera (DaMatta, 2004b).

Os principais componentes da adaptação diferencial à seca entre clones de Conilon parecem ser comportamentais, sendo provavelmente, governadas pelas taxas de uso da água e/ou pela eficiência de extração da água do solo (DaMatta et al., 2000; Pinheiro et al., 2005; DaMatta e Ramalho, 2006).

O déficit hídrico é um fator limitante de produção para o café, e pode afetar vários aspectos do crescimento e desenvolvimento da planta (Cintra et. al., 2020). Os efeitos mais visíveis do estresse hídrico são a redução no tamanho, área foliar e produtividade da cultura. O grau do dano causado depende consideravelmente do estágio fenológico em que ocorre o estresse e do tempo de duração do estresse na planta (DaMatta e Ramalho, 2006).

Em condições de deficiência hídrica no solo, ocorrem alterações no metabolismo tais como: o fechamento estomático, a queda na concentração de carbono interno, o aumento das taxas de fotorrespiração e a diminuição na taxa de fotossíntese líquida (Taiz et al., 2017). Ainda segundo estes autores, esse efeito é devido ao fato de a água estar presente em todos os processos metabólicos, sendo o principal veículo que regula a absorção e o transporte dos nutrientes minerais do solo para as várias partes da planta.

O cafeeiro Conilon vem apresentando um crescimento em produtividade, muito em função do uso da irrigação, sobretudo no período de florescimento e formação dos frutos (Covre et al., 2022). Ainda segundo esses autores, uma correta disponibilidade hídrica gera uma maior expansão dos frutos, o que melhora a classificação dos grãos.

Contudo, embora o déficit hídrico no período de enchimento de grãos seja prejudicial, uma estiagem durante o verão é ainda mais danosa, pela combinação da seca, com a alta irradiância e altas temperaturas (Venancio et al. 2020). Covre et al. (2022) observaram que essa combinação acarreta queda nos frutos. Pinheiro et al. (2017) relatam que no Brasil, assim como nos demais países produtores de café, a seca é o principal fator limitante na produção.

Por outro lado, um suprimento de água correto contribui com a diminuição da temperatura do dossel e permite o transporte de nutrientes pelo fluxo transpiratório (DaMatta et al., 2019). Contudo, para que a aplicação de água seja eficiente é fundamental o conhecimento adequado da demanda hídrica da cultura que, por sua vez, é regulada por características intrínsecas da planta, do solo e do clima da região (Valancogne et al, 1989; Delgado-Rojas, 2003).

### 3.3. BALANÇO DE RADIAÇÃO

A radiação solar global é um elemento meteorológico de extrema importância, pois fornece energia para a vaporização da água (Gentil, 2010). A irradiância solar é a principal fonte de energia para toda a biosfera (Pinto et al., 2022), sendo que os vegetais têm a capacidade de converter a energia eletromagnética, proveniente do sol, em energia química na forma de carboidrato.

O Sol fornece a maior parte da energia utilizada na evapotranspiração, e devido a isso, o saldo de radiação ou radiação líquida ( $R_n$ ) é um dos elementos meteorológicos principais no controle da evapotranspiração (Rosenberg et al., 1983; Pinto et al., 2022).

Esse saldo é a energia líquida disponível para que ocorram os processos físicos de vaporização da água tanto do interior dos estômatos (transpiração) quanto nas superfícies do solo e do vegetal (evaporação). O balanço de radiação é realizado somando o Balanço de Ondas Curtas e o Balanço de Ondas Longas (Querino et al., 2022).

Querino et al. (2017) citam que o Balanço de Ondas Curtas é dado pela diferença entre a Radiação Solar Global, que é a fração da Radiação Solar Extraterrestre que chega à superfície e a Radiação Solar Refletida e que este último se dá em função do albedo da superfície que está recebendo a irradiação solar.

O albedo da superfície varia em função da rugosidade, coloração e nível de umidade da superfície, sendo que quanto mais escura, rugosa e úmida for a superfície,

como um ambiente florestal, menor será seu valor e então mais energia ficará disponível a aquele ecossistema (Fernandes et al., 2021). Além disso, esse albedo também é influenciado pela inclinação solar e pela nebulosidade (André et al., 2010a; Schöffel et al., 2021).

Considera-se ondas curtas as de comprimento entre 30 nm e 300 nm (Bergamaschi e Bergonci, 2017). Segundo Cui et al. (2012), esse tipo de radiação é fundamental para estudos quanto à fotossíntese, aquecimento do ar e solo, evaporação e evapotranspiração.

Já o Balanço de Ondas Longas é a contribuição da radiação atmosférica, ondes as partículas em suspensão emitem radiação proporcional a sua temperatura e emissividade (Krieger et al., 2020). Considera-se ondas longas as que têm comprimento acima de 300 nm (Bergamaschi e Bergonci, 2017).

Como a superfície dos cultivos também emite ondas longas, o balanço é feito pela diferença das ondas recebidas pela atmosfera e emitidas pelo vegetal, no caso de estudos agrometeorológicos. Dessa forma, o comportamento das ondas longas depende dos gases atmosféricos, temperatura do ar da superfície e é fundamental no entendimento das trocas de calor (Aguilar et al., 2015).

### 3.4. BALANÇO DE ENERGIA

A evapotranspiração, processo físico onde a água muda seu estado físico de líquido para gasoso por meio da transpiração de vegetais ou evaporação de superfícies, é causada pela troca de energia desta superfície e ela é dependente da energia disponível nesse sistema (Xiong et al., 2022). É possível se estimar o fluxo de calor latente de vaporização através do princípio de conservação da energia (André et al., 2010b).

Com base na conservação da energia no sistema e sua perda para aquecer o solo, ar e vaporizar a água, estima-se a evapotranspiração através da equação do balanço de energia, composta pelo saldo de radiação que é a soma dos fluxos de calor latente e sensível na atmosfera e fluxo de calor no solo (Pereira et al., 2021). O saldo de radiação representa a contabilização entre a radiação de onda curta incidente e a refletida e da radiação de onda longa incidente e emitida pela superfície e representa a entrada de energia no meio (Querino et. al., 2022).

Além desses componentes, há também a energia armazenada no vegetal e a energia utilizada no processo fotossintético. Contudo, estes componentes são

negligenciáveis por sua baixa contribuição no balanço de energia (Holwerda e Meesters, 2019; Souza et al., 2021).

O fluxo de calor latente é a transferência de massa da superfície do sistema solo-planta para a atmosfera, tendo como resultado a evaporação da água, e é governado pela energia e água disponíveis (Tchebakova et al., 2023). Normalmente o fluxo de calor latente representa a maior fração do saldo de radiação (Dharshini et al., 2022).

O fluxo de calor sensível é o resultado da diferença entre as temperaturas do ar e da superfície e o fluxo de calor do solo é determinado pelo aquecimento de sua superfície pela radiação solar, sendo então função do balanço de radiação (Teixeira, 2001).

O fluxo de calor do solo é influenciado por fatores externos como o balanço de radiação, temperatura do ar, nebulosidade, vento e chuva. Os fatores intrínsecos para esse processo são topografia, cobertura do solo e tipo de solo. Durante o dia, o solo armazena energia na forma de calor, tendo como consequência o aumento da temperatura, sendo que à noite o solo libera calor e reduz sua temperatura um processo inverso ao que ocorre durante o dia (Pereira et al., 2007).

Os valores de saldo de radiação e fluxo de calor do solo são obtidos através de saldo radiômetros e fluxímetros, contudo não há equipamentos confiáveis para medida de valores de fluxo de calor latente e calor sensível (Teixeira, 2001). Devido a isso, são realizadas estimativas destes parâmetros através do método da razão de Bowen, baseado na covariância turbulenta e na lei de conservação de energia (Dharshini et al., 2022).

Este é um método meteorológico que considera que a Razão de Bowen é a razão entre o calor sensível e o calor latente (Bowen, 1926) e é calculado com base em gradientes de temperatura e de pressão de vapor de água entre diferentes alturas em relação ao solo (Machado et al., 2016; Silva et al., 2007; Dharshini et al., 2022).

Para evitar erro nas estimativas, Perez et al. (1999) propuseram critérios para determinar valores de confiança com base na resolução dos sensores e gradientes de pressão de vapor. Os valores excluídos por erro em estimativas podem ser substituídos por interpolação linear com valores confiáveis mais próximos (Machado et al., 2016; Souza et al., 2021).

### 3.5. BALANÇO DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO CAFEEIRO CONILON

Alguns estudos com o cafeeiro apresentam resultados do balanço de energia tanto para estimativa de evapotranspiração (Angelocci, 2008; Gutiérrez e Meinzer 1994) quanto para estimativas de evaporação do solo (Holwerda e Meesters, 2019), além também da utilização da razão de Bowen na mensuração da evapotranspiração e a confiabilidade desse método no cafeeiro (Righi, et al, 2007).

Marin et al. (2005) utilizaram o método da razão de Bowen para estimar a necessidade hídrica de *Coffea arábica* sobre porta-enxertos de *C. canephora*, e encontram como coeficiente de cultura ( $K_c$ ) médio de 1,0, com evapotranspiração potencial e evapotranspiração da cultura iguais a  $3,2 \text{ mm.d}^{-1}$ , em média. Ainda segundo os mesmos autores, o Brasil, por seu tamanho continental e variabilidade climática, mesmo com alguns estudos na área, demanda mais pesquisas desse tipo.

Apesar de ser possível extrapolar os resultados de balanço de energia para outras regiões e climas, algumas características dos cultivos são muito específicas e dependem do manejo empregado, tais como o albedo de superfície (Pinto et al., 2022). Grande parte dos trabalhos foram realizados com a espécie do grupo arábica, como no estudo de Castaño-Marín et al. (2022), que obtiveram evapotranspiração da cultura de  $4,17 \text{ mm.d}^{-1}$  a  $4,71 \text{ mm.d}^{-1}$  para café consorciado com milho (*Zea mays* L.), enquanto o cultivo solteiro de café evapotranspirou  $4,32 \text{ mm.d}^{-1}$  dos 13 aos 24 meses e  $4,09 \text{ mm.d}^{-1}$  dos 25 aos 43 meses após o transplante.

DaMatta et al. (2019) ressaltam que o estudo dos aspectos energéticos do cafeeiro também possui importância no entendimento de como as mudanças climáticas que vêm ocorrendo interferem na cultura, já que esta apresenta grande sensibilidade quanto a esse aspecto.

Ademais, no contexto de mudanças climáticas, é crescente a pressão para que os cultivos sejam cada vez mais sustentáveis e cabe ao produtor realizar uma eficiente gestão do uso da água (Koech e Langat, 2018). Para isso, índices hídricos são de grande valia, já que estes são uma ferramenta que permite ao irrigante avaliar a eficiência do emprego da água no meio produtivo (Fernández et al., 2020).

Os índices hídricos podem expressar produtividade física, indicando produção ou produtividade obtida por unidade de água consumida, e produtividade econômica, que indica o valor econômico obtido na comercialização da produção por unidade de água consumida (Kijne et al., 2003). A produtividade de água da cultura (PAC) é um índice de produtividade física e é obtido pela razão entre a produtividade obtida e a  $ET_c$  acumulada durante o ciclo produtivo (Blatchford et al., 2018).

No cafeeiro Conilon, Dardengo et al. (2018) observaram que são necessários  $8,8 \text{ m}^3$  para a produção de  $1,0 \text{ Kg}$  do grão beneficiado, o que equivale a uma PAC  $0,11 \text{ Kg.m}^{-3}$ , enquanto Bonomo et al. (2014) obtiveram  $1,0 \text{ Kg}$  de café beneficiado a cada  $6,58 \text{ m}^3$ , o que indica um PAC de  $0,15 \text{ Kg.m}^{-3}$ . Contudo, esses autores consideraram toda entrada de água no estande (precipitação pluviométrica e irrigação), e não apenas o ETc, como estabelecido por Kijne et al (2003).

### 3.6. NECESSIDADE TÉRMICA

As condições ambientais e o perfil térmico da localidade influenciam o crescimento e o desenvolvimento das culturas, que exigem certa quantidade de calor para o seu desenvolvimento (Khairlani et al., 2020). Os primeiros estudos relacionados a esta ideia são atribuídos a Reaumur, que por volta de 1735, notou que as somas das temperaturas durante o ciclo de espécies eram constantes, mesmo em diferentes anos (Pereira et al., 2007).

Posteriormente, Arnold (1959) implementou o conceito de temperatura base inferior que é a temperatura abaixo da qual a soma térmica se torna irrelevante para mudanças fenológicas (Ruml et al., 2010; Oses et al., 2020). Dessa forma, o tempo térmico, em graus dias, é dado como a soma das temperaturas médias diárias, subtraindo-se temperatura basal inferior, contando os dias do início ao fim da fase fenológica em estudo ou do ciclo do vegetal (Angelo et al., 2019).

Há também o caso em que a temperatura máxima do ar no dia fique acima do saudável à planta, prejudicando suas atividades metabólicas (Posse et al., 2018) e para esse caso, adota-se a temperatura basal superior. Ometto (1981) propõe cinco casos das possíveis relações entre temperatura basal superior e inferior, temperatura máxima do dia e temperatura mínima do dia, além de propor fórmulas à soma térmica para cada caso. Contudo, a temperatura basal superior é pouco usada em trabalhos de pesquisas, já que é a temperatura base máxima é pouco frequentemente atingida.

Dessa forma, segundo Sales et al. (2022), a soma térmica é uma maneira fácil de mensurar a energia utilizada pela planta, desde que estejam entre temperaturas máximas e mínimas, fora das quais a planta teria seu desenvolvimento prejudicado ou até sofrer distúrbios.

A correlação entre o desenvolvimento vegetal e o acúmulo térmico pode ser usado para prever o calendário da safra, através do qual pode-se planejar o momento ideal de cada tipo de manejo, assim como a época de colheita (Sánchez-Mora et al.,

2020; Suresh et al., 2021). Entretanto, a soma térmica é raramente utilizada em estudos com cafeeiros e quando o seu uso foi feito, foi abordando o ciclo reprodutivo completo, sem levar em conta os estádios fenológicos reprodutivos (Angelo et al., 2019).

Souza et al. (2017) avaliando clones de *C. canephora* na Amazônia ocidental por duas safras os classificaram em três grupos. Os clones precoces acumularam entre  $2660^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  e  $2821^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  e  $2621^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  a  $2711^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  da entre a data de florescimento e de colheita, no primeiro e segundo ano avaliado. Já os intermediários acumularam  $2875^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  a  $3067^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  no primeiro ano e  $2880^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  a  $3090^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  no segundo ano em seus períodos reprodutivos. Os tardios, por sua vez, tiveram a soma de  $3102^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  a  $3240^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  no período reprodutivo no primeiro ano avaliado e de  $3140^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$  a  $3274^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ , no segundo ano.

Ainda segundo os mesmos autores, as diferenças entre as somas térmicas nos dois anos avaliados foram causadas pela desuniformidade na distribuição das chuvas.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado em um campo de cultivo já existente em área pertencente à estação evapotranspirométrica da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, localizada nas dependências do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos – CEPEAA, da Empresa de Pesquisas Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro PESAGRO-RIO, em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, em coordenadas geográficas 21° 24' 48" de latitude Sul e 41° 44' 48" de longitude Oeste e 14 m de altitude, referidas ao Datum WGS84.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como Aw, isto é, clima tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e temperatura média do ar no mês mais frio superior a 18°C. Segundo a última normal climatológica do município (1991-2020), a temperatura média situa-se em torno de 24,6°C, com uma precipitação média anual de 981,6 mm, sendo comum a presença de veranicos nos meses de janeiro e fevereiro (INMET, 2023).

Dados da radiação solar incidente, radiação líquida, temperatura e umidade relativa máxima e mínima do ar, precipitação pluviométrica, velocidade e direção do vento, dentre outros, foram obtidos por meio de uma estação micrometeorológica instalada sobre o dossel vegetal do cafeeiro.

O solo da área experimental apresenta topografia plana e é classificado como Neossolo Flúvico Tb Distrófico, segundo o sistema brasileiro de classificação de solo da EMBRAPA (1999).

## 4.2. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O espaçamento utilizado entre os cafeeiros é de 2,5 m entre linhas e 1,5 m entre plantas na linha, totalizando uma área de 22,5 m<sup>2</sup> por subparcela e área útil da subparcela com 15 m<sup>2</sup>. Cada subparcela constitui-se de seis plantas, sendo as duas das extremidades consideradas bordaduras (Figura 1). A área experimental total foi de 1260 m<sup>2</sup>.

Os genótipos utilizados são clones da variedade Vitória: o clone 02 com ciclo precoce, e os clones polinizadores foram: clone 3V (ciclo médio), clone 6V (ciclo médio), clone 11V (ciclo precoce) e clone P2 (ciclo médio). A utilização dos materiais genéticos distintos na mesma área é devido a característica de *C. canephora* de fecundação cruzada (Venancio et al., 2020).



Figura 1: Vista aérea do arranjo das plantas e espaçamentos na área experimental, Campos dos Goytacazes, RJ. Fonte: Prof. José Carlos Mendonça.

As plantas foram transplantadas para o local em maio de 2014, e as avaliações descritas no presente estudo foram realizadas de 01 de junho de 2015 a 31 de maio de 2022. O ciclo produtivo foi considerado do início de junho de um ano ao final de maio do ano seguinte.

No início do cultivo, determinou-se a calagem por meio do Método de Saturação por bases e buscou atingir o valor de 70%, e para isso se utilizou aplicação superficial de calcário dolomítico 90 dias antes do transplante. A adubação foi feita em covas, com a incorporação de 200 g de superfosfato simples, 5,0 L de esterco de curral e 20 g de formulado com micronutrientes FTE – BR 12, que contém 1,8% de B, 0,8% de Cu, 2,0% de Mn, 9,0% de Zn e 1,0% de S, conforme a recomendação para cultura (Garcia et al., 2022; Prezotti, 2014).

Os tratos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas da cultura. (Ferrão, et al., 2017). A colheita do cafezal foi realizada em torno do mês de maio de cada ano e após, foi realizado o esqueletamento das plantas, de forma a prepará-las para o próximo ciclo produtivo.

O cultivo foi irrigado por gotejamento, e as lâminas de irrigação foram calculadas com base na  $ET_o$ , calculada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) com base nos dados provenientes de estação meteorológica próxima à área de cultivo.

#### 4.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS MICROMETEOROLÓGICOS

Na área experimental foi instalada uma estação micrometeorológica para medidas de radiação solar global e radiação solar refletida, saldo de radiação, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e fluxo de calor no solo.

Para as medidas da radiação solar global ( $R_g$ ) e a radiação refletida ( $R_r$ ) pela superfície foram utilizados dois piranômetros modelo LI-200X Li-Cor, Lincoln, NE, USA, sendo um com a face voltada para cima e o outro com a face voltada para baixo. Já o saldo de radiação ( $R_n$ ) foi obtido por um saldo radiômetro modelo NR-Lite Kipp e Zonen Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA. Os piranômetros e o saldo radiômetro foram posicionados 0,5 m acima do dossel dos cafeeiros.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos por meio de sondas modelo HMP45C-L, Vaisala, Helsinki, Finland, enquanto a velocidade e direção do vento foram medidas por dois anemômetros de conchas modelo Met One 03002 - L R. M. Young Wind Sentry Set, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA. Tanto as sondas quanto os anemômetros foram instalados 0,5 m e 2,5 m acima da copa, para que fosse possível a obtenção de um gradiente de temperatura, umidade do ar e velocidade do vento. Utilizou-se também três fluxímetros modelo HFP01SC-L

Hux Flux Thermal Sensors, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA, a 0,02 m de profundidade, para contabilizar o fluxo de calor no solo (G).

Os dados foram coletados a cada minuto e armazenados em valores médios a cada 15 minutos por um coletor de dados modelo CR1000 da Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA.

#### 4.4. BALANÇO DE RADIAÇÃO

Por meio da razão entre a irradiância solar refletida e incidente médias horárias é possível obter o albedo, o qual foi calculado pela Equação 1:

$$\alpha = \frac{R_r}{R_g} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

$\alpha$  é o albedo, adimensional;

$R_r$  é a radiação solar refletida, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

$R_g$  é a radiação solar incidente, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>.

Para o albedo diário, considerou-se apenas as médias dos albedos entre 11h e 13h, como feito por André et al. (2010a), momento em que os raios solares estão incidindo com menor ângulo zenital.

Também foram calculados os coeficientes angulares (a) e linear (b) da regressão entre o saldo de radiação ( $R_n$ ) e a diferença entre  $R_g$  e  $R_r$ , de acordo com André et al. (2010a). A partir dos coeficientes da regressão foi calculado o coeficiente de troca de onda longa ( $\lambda_L$ ), parâmetro referente às propriedades térmicas do ar, por meio da Equação 2:

$$\lambda_L = a - 1 \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

$\lambda_L$  é o coeficiente de troca de onda longa, adimensional;

a é o coeficiente angular da regressão entre  $R_n$  e ( $R_g - R_r$ ).

Ainda a partir da regressão relatada acima, foi calculado o coeficiente térmico ( $\beta_L$ ), parâmetro relacionado às propriedades térmicas da superfície, por meio da Equação 3:

$$\beta_L = \frac{1 - a}{a} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

$\beta_L$  é o coeficiente térmico, adimensional;

$a$  é o coeficiente angular da regressão entre  $R_n$  e  $(R_g - R_r)$ .

A transmissividade atmosférica ( $K_t$ ) indica o quanto as partículas na atmosfera influenciam na radiação solar que chega à superfície e foi calculada pela Equação 4, conforme André et al. (2010a):

$$K_t = \frac{R_g}{R_a} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

$K_t$  é a transmissividade atmosférica;

$R_g$  é a radiação solar incidente, em  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ;

$R_a$  é radiação solar no topo da atmosfera,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

O  $K_t < 0,4$  indica dia com alta nebulosidade;  $0,4 \leq K_t < 0,6$ , representa dia com céu parcialmente nublado, enquanto  $K_t \geq 0,6$  demonstra condições de céu claro e com baixa nebulosidade (Querino et al., 2022).

A radiação solar no topo da atmosfera foi calculada pela Equação 5 descrita por Alves e Vianello (2004):

$$R_a = S_0 \left( \frac{D'}{D} \right)^2 \cos Z \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

$R_a$  é radiação solar no topo da atmosfera,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ;

$S_0$  é constante solar, em  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ;

$D'$  é a distância terra-sol;

$D'/D$  é o fator de correção devido à excentricidade da órbita da terra;

$Z$  é o ângulo zenital, em  $^\circ$ .

O balanço de ondas curtas foi calculado com base na equação 6:

$$BOC = Rg (1 - \alpha) \quad \text{Eq. 6}$$

Para obtenção do balanço de ondas longas, calculou-se a diferença entre o saldo de radiação e saldo de ondas curtas, tal qual André et al. (2010a), como demonstrado na equação 7:

$$BOL = Rn - BOC \quad \text{Eq. 7}$$

Em que:

$\Delta L$  é o saldo de ondas longas, em MJ m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

$\alpha$  é o albedo da superfície;

$Rg$  é a radiação solar global, em MJ m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>.

#### 4.5. BALANÇO DE ENERGIA PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN

O fluxo de calor latente (LE) pelo método do balanço de energia foi determinado a partir da Equação 8:

$$LE = \frac{RN - G}{(1 + \beta)} \quad \text{Eq. 8}$$

Em que:

LE é o fluxo de calor latente, MJ m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

Rn é o saldo de radiação, MJ m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

G é o fluxo de calor do solo, em MJ m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

$\beta$  é a razão de Bowen.

Para se obter  $\beta$ , assim como Souza et al. (2021) considerou-se a igualdade entre os coeficientes de difusão de calor sensível e de vapor d'água ( $K_h=K_v$ ), e entre a razão  $(dT/dz)/(de/dz)$  e  $\Delta T/\Delta e$ , em que  $z$  é a distância entre as medições. Dessa forma, utilizou-se a equação simplificada abaixo (Eq. 9):

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad \text{Eq. 9}$$

Em que:

$\gamma$  é um parâmetro psicrométrico;

$\Delta T$  é a diferença da temperatura do ar 0,5 m e 2,5 m acima da copa, °C;

$\Delta e$  é diferença da pressão de vapor do ar 0,5 m e 2,5 m acima da copa, kPa.

O valor de  $\gamma$  foi obtido pela Equação 10:

$$\gamma = \frac{C_p \cdot P}{0,622 \cdot \lambda} \quad \text{Eq. 10}$$

Em que:

$C_p$  é o calor específico do ar à pressão constante;

$P$  é a pressão atmosférica média local;

$\lambda$  é o calor latente de vaporização da água, atribui-se o valor de 2,45 MJ.kg<sup>-1</sup>.

Obteve-se a pressão de vapor do ar (ea em kPa) pela Equação 11:

$$ea = 0,6108e^{\frac{17,27 T_o}{T_o+237,3}} \quad \text{Eq. 11}$$

Em que:

$T_o$  é a temperatura do ar no ponto de orvalho, °C.

A pressão de saturação do ar média foi calculada a partir da Equação 12:

$$es = 0,6108e^{\left(\frac{17,27 \cdot T}{237,3+T}\right)} \quad \text{Eq. 12}$$

Em que:

$T$  a temperatura do ar, °C.

Como resíduo da Equação 8, pode-se obter o fluxo de calor sensível pela Equação 13:

$$H = Rn - LE - G \quad \text{Eq. 13}$$

Em que:

H é o fluxo de calor sensível, em MJ.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>;

LE é o fluxo de calor latente, em MJ.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>;

Rn é o saldo de radiação, em MJ.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>;

G é o fluxo de calor do solo, em MJ.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>.

A partir dos critérios propostos por Perez et al. (1999) excluiu-se os dados inconsistentes de  $\beta$ . A Tabela 1 apresenta o resumo de classes de erros gerados pelo método do balanço de energia razão de Bowen.

Tabela 1: Resumo das classes de erros gerados pelo método do balanço de energia razão de Bowen (Perez et al., 1999)

Classes de erro	Condição
A	(Rn-G)>0, $\Delta e > 0$ e $\beta < -1 +  \epsilon $
B	(Rn-G)>0, $\Delta e < 0$ e $\beta > -1 +  \epsilon $
C	(Rn-G)<0, $\Delta e > 0$ e $\beta > -1 +  \epsilon $
D	(Rn-G)<0, $\Delta e < 0$ e $\beta < -1 +  \epsilon $
E	Mudanças rápidas na Temperatura e pressão de Vapor

O erro ( $\epsilon$ ) foi calculado levando em consideração a precisão dos sensores empregados para a obtenção da temperatura e umidade, e foi calculado conforme a Equação 14:

$$\epsilon = \frac{(\delta\Delta e - \gamma\delta\Delta T)}{\Delta e} \quad \text{Eq. 14}$$

Em que:

$\delta\Delta e$  e  $\delta\Delta T$  são os limites de resolução para os gradientes de temperatura e pressão de vapor, considerando uma precisão de 0,2°C para medição de temperatura e de 2% para pressão de vapor;

$\gamma$  é um parâmetro psicrométrico;

$\Delta e$  é diferença da pressão de vapor do ar 0,5 m e 2,5 m acima da copa, kPa.

Os valores de  $\beta$  descartados por erro foram estimados por interpolação entre valores anteriores e posteriores do momento do erro, desde que o período de dados descartados não fosse superior a duas horas, assim como feito por Righi et al. (2007). Caso o período de dados descartados seja maior que duas horas, os dados do dia foram desconsiderados.

Todos os parâmetros do balanço de energia foram estimados para o período diurno, isto é, quando  $R_g > 0$ , uma vez que no período noturno há mais erros, em função da estabilidade atmosférica, que geram baixos gradientes verticais e o fluxo de calor latente no período da noite é muito menor que nos períodos diurnos (Righi et al., 2007).

O balanço de energia foi realizado levando em consideração o volume compreendido entre 2,5 m acima do dossel a 0,3 m de profundidade, de forma a considerar positivos os fluxos de calor que chegam ao referido volume e negativos os fluxos que saem deste.

#### 4.6 DETERMINAÇÃO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA POR MEIO DO FLUXO DE CALOR LATENTE

Assumiu-se que a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) foi igual a razão do fluxo de calor latente e do calor para vaporização da água (Equação 15):

$$ET_c = \frac{LE}{\lambda} \quad \text{Eq. 15}$$

Em que:

$ET_c$  é a evapotranspiração da cultura  $\text{mm.dia}^{-1}$ ;

$LE$  é o fluxo de calor latente,  $\text{MJ m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ;

$\lambda$  é o calor latente de vaporização da água, atribui-se o valor de  $2,45 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

#### 4.7 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DA CULTURA

O coeficiente da cultura foi obtido pela Equação 16:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad \text{Eq. 16}$$

Em que:

$K_c$  é o coeficiente da cultura, adimensional;

$ET_0$  é a evapotranspiração de referência,  $\text{mm.dia}^{-1}$  obtida pelo Método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), parametrizado pelo método FAO 56.

A evapotranspiração de referência foi calculada de acordo com a Equação 17:

$$ET_0 = \frac{0,408(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad \text{Eq. 17}$$

Em que:

$ET_0$  é a evapotranspiração de referência, mm.dia<sup>-1</sup>;

$\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor, em kPa.°C<sup>-1</sup>;

$Rn$  é a radiação líquida total diária, em MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

$G$  é o fluxo de calor no solo, em MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

$\gamma$  é a constante psicrométrica, em kPa.°C<sup>-1</sup>;

$T$  é a temperatura média do ar, em °C;

$U_2$  é a velocidade média do vento medido a 2 m de altura, em m.s<sup>-1</sup>;

$e_s$  é a pressão de saturação de vapor de água, em kPa;

$e_a$  é pressão atual de vapor de água, em kPa.

Os dados para o cálculo da evapotranspiração de referência foram obtidos em uma estação meteorológica adjacente à área plantada com os cafeeiros.

#### 4.8. SOMA TÉRMICA

Para determinar a soma térmica dos clones utilizou-se a Equação 18, descrita por Arnold (1959):

$$GD = \sum \left( \left[ \frac{T_{máx} + T_{mín}}{2} \right] - T_b \right) \quad \text{Eq. 18}$$

Em que:

$GD$  é acúmulo térmico, °C. dia;

$T_{máx}$  é a temperatura diária máxima, °C;

$T_{mín}$  é a temperatura diária mínima, °C;

$T_b$  é a temperatura basal mínima, adotada neste trabalho como 15°C, assim como feito por Souza et al. (2017).

Para a obtenção das temperaturas máximas e mínimas diárias foi utilizado o termo-higrômetro posicionado a altura do dossel.

#### 4.9 AVALIAÇÕES AGRONÔMICAS

As colheitas dos frutos ocorreram no momento em que 70% deles atingiram o a maturação (café cereja), em derriça manual em peneira, de forma não seletiva.

Para estabelecer o rendimento de produção da cultura, realizou-se a pesagem dos frutos colhidos em cada planta, inicialmente medindo a massa dos frutos frescos (MF, em kg), posteriormente, a massa dos frutos secos (MS, em Kg) de amostra de 5 Kg frescos, realizado após a secagem e por fim, massa dos grãos (MG, em Kg), após beneficiamento (pilado) da amostra de 5 Kg.

Foi avaliada também a Produtividade da água na cultura (PAC, em Kg.m<sup>-3</sup>), que o é rendimento do produto comercializável por unidade de evaporação da cultura, calculada pela Equação 19, descrita por Kijne et al. (2003):

$$PAC = \frac{PD}{\sum ETc} \quad \text{Eq. 19}$$

Em que:

PAC é a eficiência do uso da água, Kg.m<sup>-3</sup>;

PD é a produtividade, Kg.ha<sup>-1</sup>;

$\sum ETc$  é a soma da evapotranspiração da cultura no ciclo produtivo, em m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

De maneira análoga, foi calculada a produtividade energética da cultura (PEC, em Kg.MJ<sup>-1</sup>), que se trata do rendimento comercializável do produto por unidade do saldo de radiação sobre a cultura, obtido pela Equação 20:

$$PEC = \frac{PD}{\sum Rn} \quad \text{Eq. 20}$$

Em que:

PEC é a produtividade energética da cultura, em g.MJ<sup>-1</sup>;

PD é a produtividade, g.ha<sup>-1</sup>;

$\sum Rn$  é a soma da radiação líquida sobre a cultura no ciclo produtivo, em MJ.ha<sup>-1</sup>.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DADOS METEOROLÓGICOS MENSAIS DA ÁREA EXPERIMENTAL

Durante o período de junho de 2015 a maio de 2022 os dados meteorológicos da área do cultivo do café foram obtidos a cada 15 minutos. Contudo, pelo longo período avaliado, optou-se por transformá-los em médias mensais. Na Figura 2 são apresentadas as médias de temperatura do ar (Temp. ar) e a umidade relativa do ar (UR).

Ao observar a Figura 2, pode-se notar que os primeiros meses do ano foram os que apresentam as máximas temperaturas. Nesse aspecto, o mês de janeiro apresentou a temperatura máxima anual na maioria dos anos avaliados, com exceção ao ano de 2016, que teve sua maior temperatura em fevereiro de 2022 que teve março como mês mais quente.

Por outro lado, as menores temperaturas foram observadas nos meses do meio do ano, com destaque o mês de julho, que apresentou menor temperatura na maioria dos anos avaliados, com exceção de 2015 e 2016, que tiveram junho como seu mês mais frio, e 2018, que teve agosto como mês de menores temperaturas. Em 2022, a menor temperatura observada foi em maio, contudo isso se deve ao experimento não ter chegado aos meses mais frios do ano.

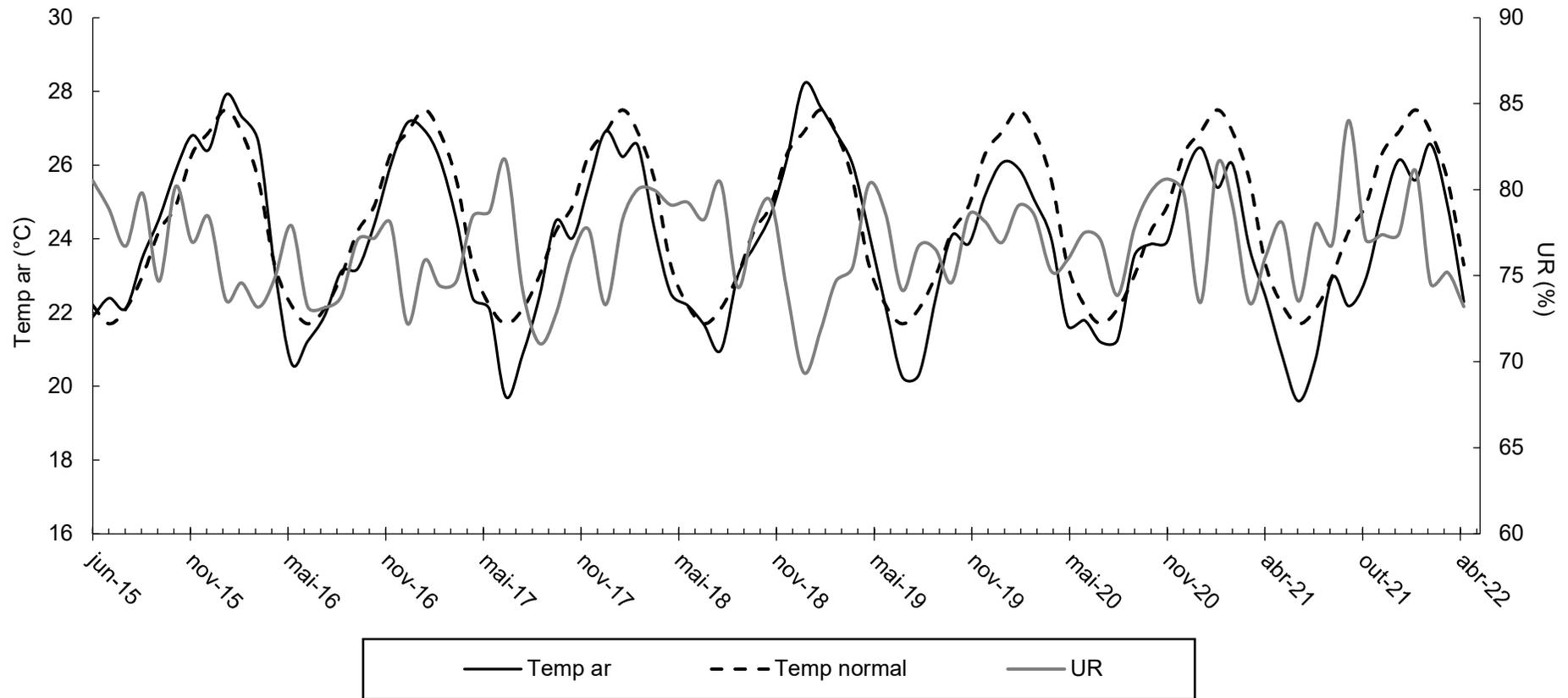


Figura 2: Médias mensais de temperatura do ar (Temp ar), normal climatológica da temperatura mensal (Temp normal) a umidade relativa do ar (UR) na área experimental entre junho de 2015 a maio de 2022.

De forma geral, nota-se que a temperatura inicia o ano elevada, e passa a diminuir com o passar do tempo, chegando ao seu mínimo no meio do ano, e a partir de então passa a se elevar até atingir seu pico no início do ano subsequente.

Outro fato interessante é que em alguns anos, como 2018 e 2021, entre os meses mais quentes há um de temperatura ligeiramente menor, o que é em função da nebulosidade e precipitação, que podem ter sido influenciadas pelo fenômeno de La Niña (LN), que ocorreu no verão de 17/18, e pela neutralidade (NE) observada em durante os meses mais quentes de 2021.

El Niño Oscilação Sul (El Niño-Southern Oscillation – ENSO) é um fenômeno climático de larga escala relacionado à temperatura superfície do oceano no Pacífico equatorial central e centro-leste (Lal e Singh, 2023). Se o oceano Pacífico aquece de forma anômala ocorre El Niño (EN), caso haja resfriamento anormal, tem-se LN, contudo se não houver nenhuma anomalia na temperatura, qualifica-se NE (Reboita et al., 2021; NOAA, 2024)

A maior temperatura mensal observada foi de 28,20°C, em janeiro de 2019, mês em que estava ocorrendo EN. Burton et al. (2020) observaram que a ocorrência de EN causa aumento nas temperaturas do Centro-Sul do Brasil. Por outro lado, a menor temperatura do ar foi 19,60°C em julho de 2021, em momento de NE. Segundo Silva et al. (2020), o EN causa aumento na temperatura das regiões produtoras de café, enquanto os fenômenos de LN e NE não causam alterações.

A média da temperatura do ar durante os sete anos de experimento foi de 23,96°C, um pouco abaixo de 24,6°C, normal climatológica do município de 1991 a 2020 (INMET, 2023). Esta média está dentro da faixa de temperatura de 22°C a 26°C, na qual o Conilon apresenta um bom desenvolvimento e bem próxima aos 23,7°C, temperatura dada como ótima para a espécie (DaMatta et al., 2018; Davis et al., 2021). Venancio et al. (2020) observaram que a produção passa a cair com temperaturas do ar acima de 25°C. Por outro lado, Kath et al. (2020) indicam que a temperatura ótima para o Conilon está abaixo de 20,5°C, podendo variar de 16,2°C a 24,1°C sem grandes perdas.

Ainda na Figura 2, pode-se observar que a Umidade Relativa do Ar (UR%) apresentou comportamento contrário ao demonstrado pela temperatura, ou seja, apresenta maiores valores nas épocas mais frias (meio do ano) e menores nas épocas mais quentes (início do ano). Esse comportamento, também observado por Paes et

al. (2020), se deve pela influência da temperatura no ar atmosférico, que aumenta seu volume com aumento da temperatura e passa a necessitar mais vapor d'água para atingir a saturação (100% de UR).

Contudo, é possível observar que os meses de novembro e dezembro, nos quais a temperatura já está com valores mais elevados, há também UR elevada. Este fato se deve ao aumento do vapor de água na atmosfera com o aumento dos eventos de precipitação que ocorre na época, como será apresentado mais adiante. Esta situação também ocorreu entre os meses de fevereiro de 2021 e 2022 e em menor intensidade em janeiro de 2016.

A UR média observada no período do experimento foi de 76,74%, com máxima 84,04%, em outubro de 2021, e mínima de 69,37%, obtida em janeiro de 2019, em função da alta temperatura, que pode ser explicada pela ocorrência de EN. Umidade relativas do ar acima de 80% são favoráveis a doenças fúngicas no Conilon, situação que foi observada em apenas 10 dos 84 meses estudados e mesmo nessas ocasiões a UR não excedeu muito este valor crítico (Capucho et al., 2013).

Por outro lado, valores de UR abaixo de 60% prejudicam a fotossíntese em razão do fechamento estomático foliar (Cunha e Rocha, 2016; Duursma et al., 2019). Com isso, é notável que a umidade relativa obtida durante o experimento foi favorável ao desenvolvimento do cafezal.

Na Figura 3 são apresentados os valores médios da velocidade do vento (VV) e a precipitação acumulada mensal, duas das variáveis que mais exercem influência sobre as relações hídricas dos cultivos.

De acordo com a Figura 3, é possível observar que os valores mais altos de velocidade do vento (VV) foram observados nos meses em que as temperaturas estão subindo, na primavera do hemisfério sul, enquanto as menores médias ocorrem nos meses em que as temperaturas começam a cair, normalmente entre março e maio.

Esse comportamento se deve pelo impacto que a temperatura tem na densidade do ar, e conseqüentemente a pressão atmosférica (Morenko e Morenko, 2021). Assim, com o aumento da temperatura ambiente leva ao aumento da velocidade do vento, pois o ar se estende e flui com velocidades diferentes (Khamees et al., 2018).

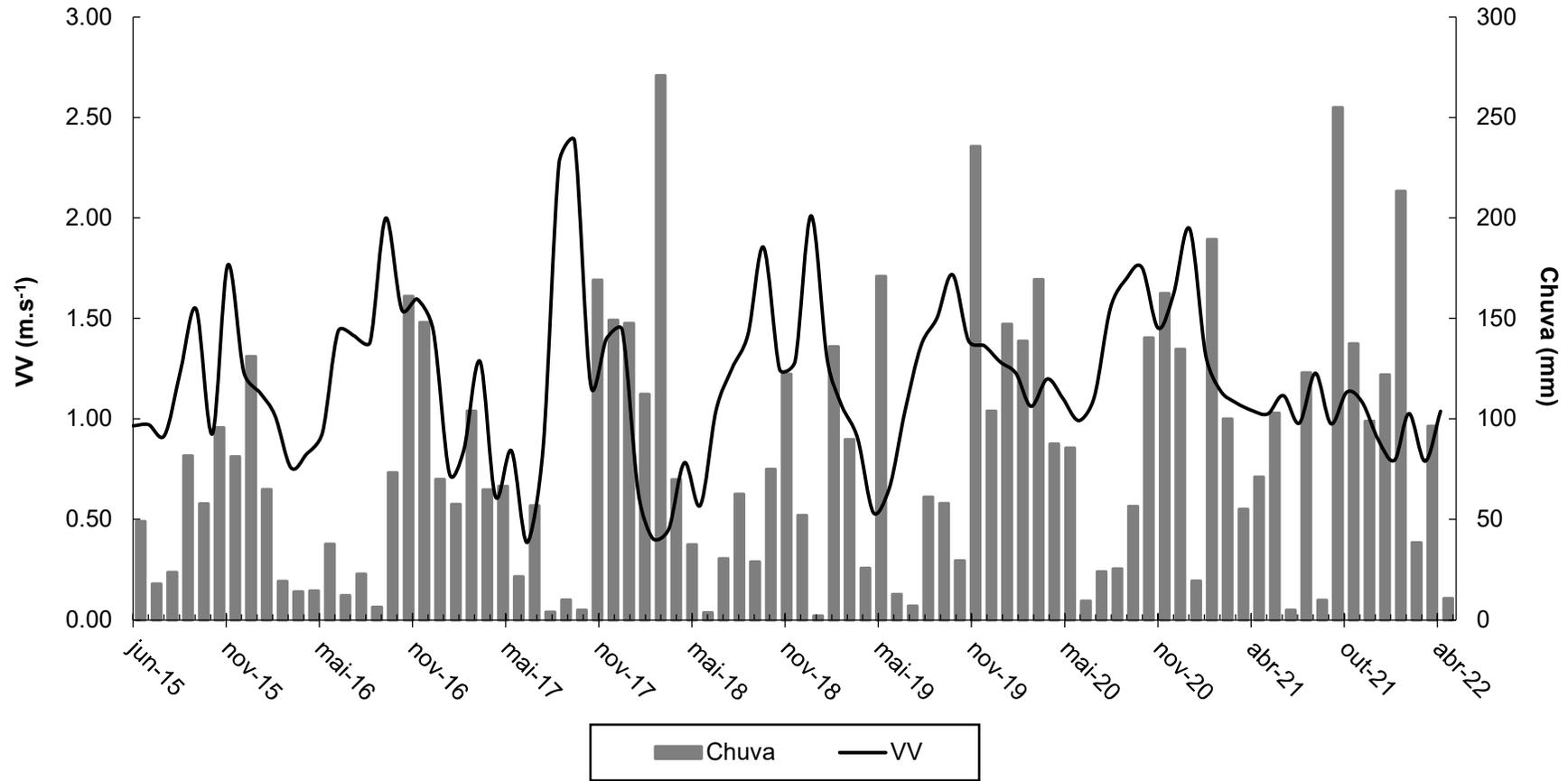


Figura 3: Média da Velocidade do Vento (VV) e acumulado mensal de chuvas na área experimental entre junho de 2015 a maio de 2022.

A menor velocidade média mínima mensal do vento foi  $0,39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , observada em julho de 2017 e a máxima foi de  $2,38 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , em outubro de 2017. O valor médio para o período experimental foi de  $1,19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , que segundo a escala de Beaufort, pode ser classificada como aragem. Observou-se que a média mensal do vento não passou da classificação de brisa leve, muito em função da presença de Capim-elefante (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) em torno do experimento, com a função de quebra-ventos.

A presença de quebra-ventos é positiva para a produção de café Conilon, uma vez que maiores velocidades do vento retiram a camada de ar úmida sobre o cafezal, o que aumenta a evapotranspiração, além de contribuir com a disseminação de patógenos e, em casos extremos, podem até causar danos mecânicos às plantas (Ferrão et al., 2017; Iyyanar et al., 2020).

Ainda conforme a Figura 3, é notável que os meses mais quentes são os mais chuvosos, de forma que a chuva da região se concentra principalmente de outubro a março. Essa observação está de acordo com as características da região, que apresenta inverno seco e verão chuvoso, como relatado por Mendonça et al. (2021).

Também é possível observar que há uma variação no acumulado mensal dentre os meses mais chuvosos, havendo a presença de um mês com menos chuvas entre dois meses mais chuvosos. Esse comportamento se dá em função da presença comum de veranicos nos meses de janeiro e fevereiro (Mendonça, 2014). Nesse sentido, destaca-se o mês de janeiro de 2019, que apresentou apenas 2,0 mm de precipitação pluviométrica acumulada, a menor precipitação mensal do período. Como dito anteriormente, neste mês ocorria EN, que está associado a antecipação e maior intensidade de veranicos (Borges et al., 2018).

Além disso, o referido mês apresentou alta velocidade do vento e também a maior temperatura e menor UR observada durante o experimento (Figuras 2 e 3). Todos esses fatores contribuem para uma alta demanda atmosférica por água, que eleva a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e, conseqüentemente, a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ).

Por outro lado, o maior acumulado de chuvas foi de 270,88 mm, observado em março de 2018, o que pode estar relacionado com o fenômeno LN, uma vez este, assim como NE, está relacionado com maiores volumes de chuva nas áreas produtoras de café (Silva et al., 2020). Contudo, assim como valores muito baixos de

acumulados de chuva mensal, volumes de precipitação muito elevados são danosos, uma vez que excedem a capacidade de campo (CC) do solo, não sendo bem aproveitada pela vegetação, além de poder causar perda de solo por escoamento superficial e encharcamento do solo, que causa prejuízo ao ambiente rural (Petrucci e Oliveira, 2019).

Para uma melhor compreensão do comportamento da chuva no período do experimento, na Tabela 2, estão discriminados os volumes de precipitação pluviométrica acumulados por ciclo produtivo (safra). Essa tabela também apresenta as médias de temperatura do ar e de umidade relativa para cada safra avaliada, além de discriminar o fenômeno climático que predominou durante cada safra.

Tabela 2: Fenômeno climático (Fen. Clim.), acumulado de chuva, Temperatura média do ar (Temp. média) e Umidade relativa (UR média) nos ciclos do café Conilon irrigado (Safra) de entre junho de 2015 a maio de 2022

Safra	Fen. Clim.	Acumulado de chuva (mm)	Temp. média ± DP (°C)	UR média ± DP (%)
<b>15/16</b>	EN	651.10	24.89 ± (2.10)	76.86 ± (2.55)
<b>16/17</b>	LN	824.30	23.97 ± (2.15)	75.50 ± (2.10)
<b>17/18</b>	LN	1053.88	23.80 ± (2.21)	76.92 ± (3.23)
<b>18/19</b>	EN	799.80	24.61 ± (2.28)	76.28 ± (3.39)
<b>19/20</b>	NE	1136.50	23.41 ± (1.94)	76.92 ± (1.61)
<b>20/21</b>	LN	988.20	23.77 ± (1.76)	77.51 ± (2.71)
<b>21/22</b>	LN	1213.40	23.28 ± (2.19)	77.21 ± (2.95)

DP: Desvio-Padrão; EN: El Niño; LN: La Niña; e NE: neutralidade.

Ao analisar a Tabela 2, nota-se que a safra 15/16 apresentou precipitação bem abaixo da normal climatológica de Campos dos Goytacazes, o que também foi observado em nove municípios do Espírito Santo (Venancio et al., 2020). Além dessa, as safras de 16/17 e 18/19 mostraram-se menores que a normal climatológica (981,6 mm). As demais safras tiveram precipitações acima da normal climatológica local.

Ainda na Tabela 2, é possível observar que as safras com menores precipitações pluviométricas, 15/16 e 18/19, ocorreram em período de EN, enquanto os anos mais chuvosos, 19/20 e 21/22, ocorreram em períodos de NE e LN. Essa observação corrobora com os resultados de Silva et al. (2020), que indica que em anos de EN há diminuição das chuvas nas áreas de cultivo de café, enquanto nas condições de NE e LN há maiores volumes de precipitação pluviométrica.

Mesmo em 21/22, a safra mais chuvosa, a precipitação anual não atingiu 1200 mm, valor de precipitação abaixo do qual a produtividade e o desenvolvimento do cafeeiro Conilon são afetados, o que indica a necessidade da irrigação para o cultivo no município (Campuzano-Duque e Blair, 2022). Ressalta-se que apesar de não ser um ano de janeiro a dezembro, a safra é contabilizada de junho a maio, um período também de 12 meses, dessa forma pode ser comparada à normal anual.

A irrigação também se faz necessária para suprir a má distribuição das chuvas, a exemplo da safra 17/18, que mesmo apresentando um acumulado de chuva acima da normal, durante os meses de agosto a outubro de 2017 houve precipitação de apenas 19,00 mm (Gráfico 2). Durante o período do experimento a média de dias seguidos sem chuva foi 6,5 dias.

Ainda conforme a Tabela 2, as safras avaliadas mais quentes foram a de 16/17 (24,89°C) e 18/19 (24,61°C), ambas em condições de EN. Por outro lado, as safras mais frias foram 21/22 (23,28°C) e 19/20 (23,41°C), em condições de LN e NE, respectivamente. Silva et al. (2020) também obtiveram que maiores temperaturas ocorreram em condições de EN, enquanto em condições de LN e NE são obtidas temperaturas mais reduzidas.

A menor dispersão de temperaturas ocorreu em 20/21 (DP=1,76°C) e as temperaturas mais dispersas foram observadas em 18/19 (DP=2,28°C). A safra 20/21 apresentou a maior umidade relativa média do experimento (77,51%), enquanto a safra 16/17 teve a menor (75,50%). Assim como para temperatura, a safra 18/19 foi a apresentou que teve maior dispersão para UR (DP=3,39%), enquanto o período com menor variação em UR foi 19/20 (DP=1,61%).

De forma geral, o município de Campos dos Goytacazes, RJ apresenta condições climáticas favoráveis ao cafeeiro Conilon, desde que suplementado por irrigação (Garcia et al., 2022).

## 5.2 BALANÇO DE RADIAÇÃO

A radiação solar é a principal fonte de energia para a biosfera e devido a isso é fundamental o entendimento de como essa variável climática se comporta (Pinto et al., 2022). Para isso, na Figura 4 estão apresentadas as médias mensais de radiação solar global (Rg), radiação solar refletida (Rr), assim como albedo e o coeficiente de transmissividade (Kt) na área experimental no período de junho de 2015 a maio de 2022.

Ao se observar a Figura 4 é possível notar que a radiação solar global apresenta maiores valores nos primeiros meses do ano, reduz sua intensidade com o passar dos meses, até apresentar seus mínimos nos meses medianos e então passa a se intensificar até chegar aos seus valores máximos no ano subsequente, assim como a temperatura. Essa semelhança nos padrões é em função da radiação solar exercer forte influência sobre a temperatura do ar (Azeez, 2022). Já a variação da radiação é explicada pela latitude e pelos fatores astronômicos (declinação solar e translação terrestre), além da composição atmosférica (Querino et al., 2022).

O valor máximo de  $R_g$  observado foi  $24,64 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em janeiro de 2019, mesmo mês em que foi observado a máxima temperatura, mínima UR e mínima precipitação, o que indica uma alta demanda atmosférica por umidade. Também pode-se observar outros picos de radiações solar mensal em dezembro de 2016 e em janeiro de 2021 ( $22,92 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e  $24,19 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , respectivamente), porém esses meses não apresentaram temperaturas elevadas e UR baixa como no início de 2019, o que pode ser explicado pela combinação de um maior volume de chuvas e pela nebulosidade ligeiramente maior, indicada por um menor coeficiente de transmissividade.

Pode-se observar que na transição de 2015 para 2016, de 2017 para 2018, de 2019 para 2020 e de 2021 para 2022 houve uma oscilação no comportamento da incidência de radiação solar, o que fez que ela não atingisse picos mais altos. Esse fato também é explicado pela transmissividade atmosférica e pela pluviosidade da região, comum para época, por se tratar do período chuvoso da região (Mendonça et al., 2021).

O valor mínimo de  $R_g$  obtido durante o experimento foi de  $8,71 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em junho de 2016 em função de uma menor incidência de radiação solar extraterrestre, por fatores astronômicos, combinada a um Kt de 37%, abaixo da média dos meses de junho (43%). Normalmente os menores valores de  $R_g$  são observados em junho, exceto no ano de 2017, que teve julho mês de menor incidência solar.

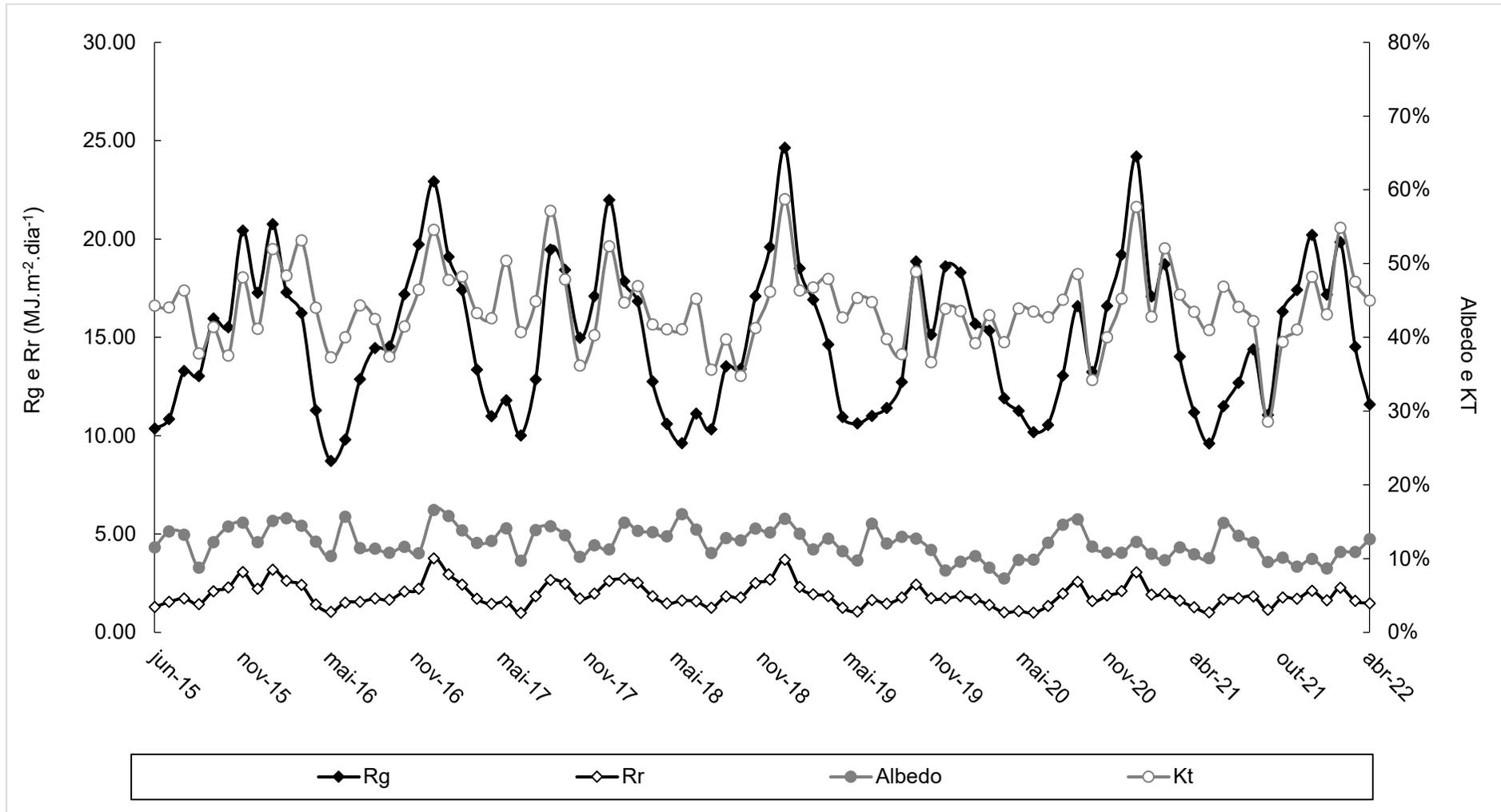


Figura 4: Médias mensais de radiação solar global (Rg), radiação solar refletida (Rr), albedo e coeficiente de transmissividade (Kt) sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.

O coeficiente de transmissividade representa a influência da atmosfera sobre a radiação solar incidente sobre a superfície, por meio das partículas em suspensão no ar, que aumentam sua opacidade atmosférica (Querino et al., 2022). Dessa forma, pode ser usado para mensurar a nebulosidade, assim como feito por André et al. (2010a). Durante o período experimental, o Kt médio foi de 44%, condição classificada como parcialmente nublada ( $40\% > Kt > 60\%$ ).

Nem mesmo o mês com maior Kt médio, janeiro de 2019, obteve classificação como céu claro ( $Kt > 60\%$ ), atingindo apenas 59%. Por outro lado, o menor Kt observado foi 29%, em outubro de 2021, e foi classificado como nublado, assim como 17 dos 84 meses avaliados (Figura 4). Pode-se notar ainda que Kt varia de maneira semelhante ao Rg, sobretudo nos meses de maior incidência solar, enquanto nos meses de menor radiação global, ainda que essas variáveis continuem em fase, a intensidade da relação diminui. Este fato ocorre em decorrência da radiação solar extraterrestre ( $R_0$ ) se tornar mais limitante nesses períodos.

Ao observar a radiação solar refletida (Figura 4), nota-se que o máximo valor obtido foi  $3,76 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em janeiro de 2017, enquanto o mínimo foi  $0,99 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em julho do mesmo ano. Apesar dos meses de que apresentaram valores máximos não coincidirem, assim como os meses de mínimas, é possível observar que Rg e Rr tem comportamento semelhantes, uma vez que a radiação refletida depende da incidente.

Contudo, a superfície também apresenta grande influência na reflexão da radiação, e para mensurar essa ação usa-se o albedo, que é a razão  $Rr/Rg$ . Mesmo sendo o principal fator, o albedo não depende apenas das características da superfície, mas também da inclinação da incidência dos raios, assim como da proporção de radiação direta e difusa que chegam a dada superfície (Ataide et al., 2020).

O albedo médio sobre o cultivo do café no período avaliado foi de 12,16%, dentro da faixa normal observada em cultivos agrícolas, cujas médias variam de 11% a 26% (Banerjee e Dutta, 2016; Ferreira et al., 2020; Bakanoğullari et al., 2022).

Na área experimental o albedo é influenciado pela status hídrico do Conilon, seus ciclos fisiológicos (ciclo vegetativo e reprodutivo) e pelos tratos culturais aplicados no mesmo. Estes elementos podem influenciar a área foliar da cultura e a

coloração das folhas, características que interferem na dinâmica da reflexão de radiação solar.

O maior valor de albedo foi 16,59%, obtido em janeiro de 2017, quando as plantas estavam em granação (enchimento) dos frutos, fase em que um grande incremento de matéria seca nos grãos (Ferrão et al., 2017).

O alto valor observado é em decorrência do déficit hídrico ao qual o cultivo foi submetido, haja vista que apesar de um volume considerável de chuva em janeiro de 2017 e nos meses anteriores, houveram 17 dias sem entrada de água no cultivo entre o fim de 2016 e o início de 2017, seja por irrigação, seja por precipitação. Além disso, o mês de janeiro de 2017 apresentou alta temperatura do ar (27,15°C) e baixa UR (73,61 %) o que indica que a atmosfera estava ávida por umidade (Figura 2).

Esse conjunto de fatores causou perda de vigor foliar e amarelecimento, e ainda, superfícies mais secas tendem a ter cor mais claras que as úmidas, o que aumenta a reflexão da radiação solar das mesmas (Querino et al., 2006).

O menor albedo foi 7,32 %, em abril de 2020, momento em havia um acumulado de 455,3 mm nos últimos três meses, além acumulado de 87,6 mm durante o próprio mês de abril, o que indica alta disponibilidade hídrica para o cultivo. Ademais, os frutos estavam passando pela fase de maturação e as plantas estavam no seu porte máximo, antes de passar pela senescência de folhas do fim do período de maturação e da poda de esqueletamento realizada pós-colheita.

Assim o cultivo se apresentava vigoroso, com maior área foliar e com folhas de cor verde escura, características que contribuem para um maior aprisionamento de luz solar, o que diminui o albedo (Yuan et al., 2022).

No geral, pode-se perceber que grandes aumentos nos valores de albedo ocorrem durante período de estresses nas plantas, ou logo após estes. Normalmente, os incrementos agudos de albedo no período mais quente do ano é em função de estresse hídrico causado por pequenos veranicos, suplementação por irrigação, enquanto na época mais fria foi causado também por estresse hídrico, mas principalmente pela colheita e a posterior poda das plantas, o que diminui a área foliar.

Menores valores de albedo implicam em maior saldo de radiação de onda curta, aumentando a energia líquida disponível para processos de aquecimento e evaporação da água.

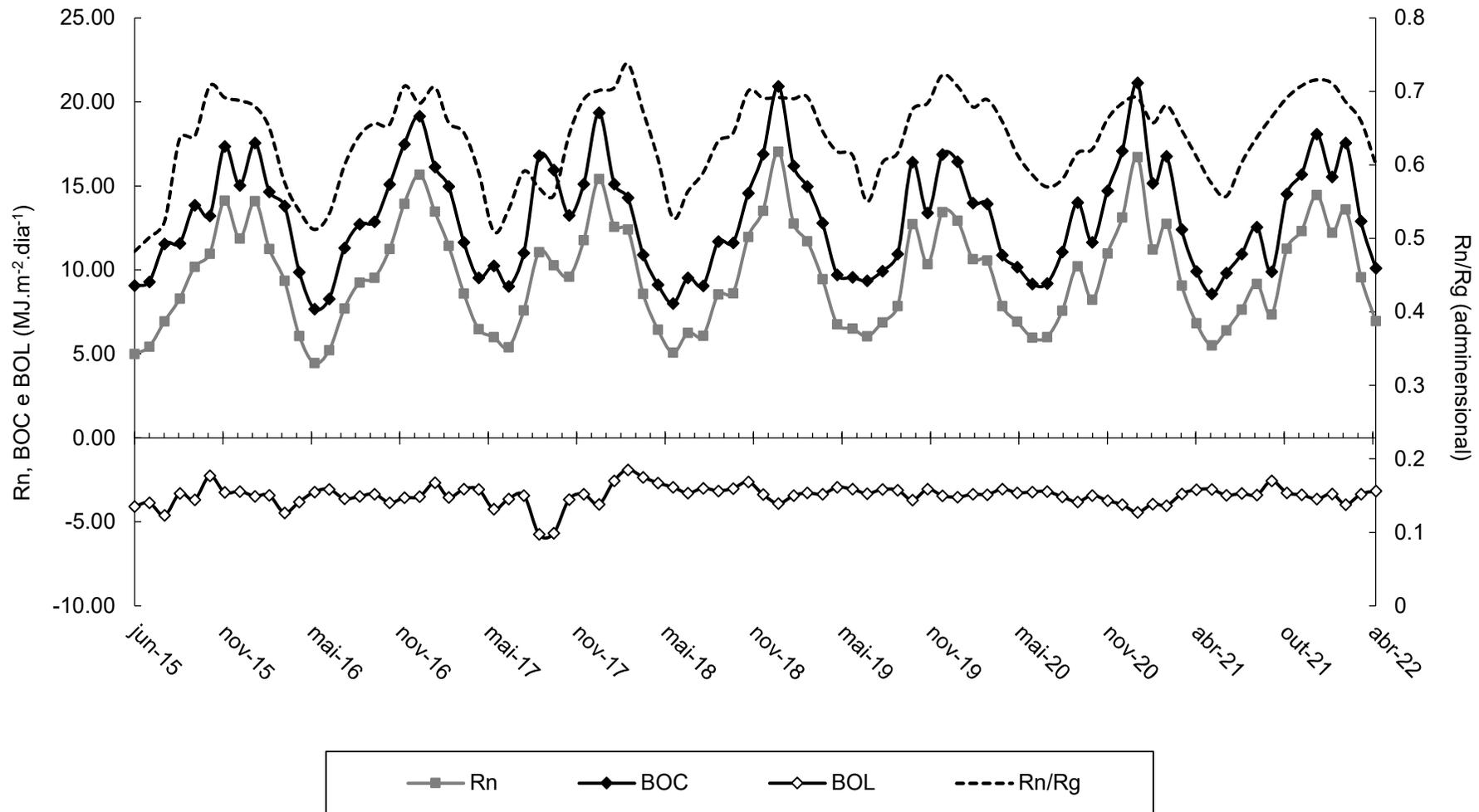


Figura 5: Balanço de Radiação mensal sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022. (Rn – Radiação Líquida; BOC - Balanço de Ondas Curtas; BOL – Balanço de Ondas Longas; Rn/Rg – Razão entre o Saldo de Radiação e Radiação Solar Global).

Para um melhor entendimento do comportamento da disponibilidade de energia radiante para o cultivo, na Figura 5 estão apresentadas as médias mensais da radiação líquida ( $R_n$ ), balanço de ondas curtas (BOC), balanço de ondas longas (BOL) e a razão  $R_n/R_g$ .

Ao observar a Figura 5, pode-se notar que o BOC varia principalmente em razão do  $R_g$ , já que os valores de  $R_r$  apresenta valores de baixa intensidade, fato também observado por Querino et al. (2022). Dessa forma, o BOC apresentam maiores valores nos primeiros meses do ano, tendem a diminuir até junho ou julho, quando passam a aumentar novamente.

O valor médio de balanço de ondas curtas observado foi de  $13,11 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , com máxima de  $21,15 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em janeiro de 2021. Por outro lado, o menor valor de BOC foi  $7,67 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , obtido em junho de 2016, mês em que o  $R_g$  também foi mínimo.

O Balanço de ondas longas, por sua vez, é a diferença entre a radiação infravermelha emitida pela atmosfera ( $R_a$ ), que varia em função da composição atmosférica e temperatura do ar, e a radiação infravermelha emitida pela superfície ( $R_s$ ), que depende da temperatura e emissividade da superfície (Querino et al., 2020; Querino et al., 2022).

O BOL apresentou valores mensais negativos durante todo o experimento, o que indica que este contribuiu com a saída de energia do ambiente produtivo. O valor médio de BOL observado foi de  $-3,42 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ . O máximo valor de BOL foi  $-1,89 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em março de 2018, o que pode ser explicado pelo alto valor de  $R_a$ , que conta positivamente no saldo, o que torna o valor menos negativo.

No referido mês, observou-se UR acima da média para o mês de março (3,46 % maior), além de apresentar o maior acúmulo mensal de chuvas (271 mm), contudo, a temperatura do ar mostrou valores bem próximos da média do período ( $26,54^\circ\text{C}$ ). Elevadas temperaturas do ar, maior quantidade de vapor d'água na atmosfera, nebulosidade e precipitação têm relação direta com o aumento de  $R_a$  (Nyeki et al., 2019; Pinto et al., 2022; Querino et al., 2022).

Por outro lado, o mínimo valor de BOL de  $-5,73 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em setembro de 2017, mês em que mais houve saída energética do ambiente de cultivo por ondas longas. Nesse mês foi observada baixas nebulosidade (Kt de 57%) e UR (71,07%), o que indica baixa emissão de ondas longas da atmosfera, além de alto valor de  $R_g$

(19,46 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>), o que faz com que as superfícies do solo e das plantas recebam mais energia e emitam mais radiação de onda longa (Rs).

Pode-se observar que BOL não apresenta um padrão bem definido de variação anual, uma vez que diversos fatores interferem, enquanto o BOC tem variação muito em função do Rg e Kt. Além disso, é possível notar que a amplitude e valor absoluto de BOL são muito inferiores que os do BOC.

Ainda conforme a Figura 5, o valor médio de radiação líquida observado durante o experimento foi de 9,69 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, com máxima de 17,05 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, em janeiro de 2019, quando o Rg também foi máximo e mínima de 4,46 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, em junho de 2016, juntamente ao mínimo Rg.

Como citado anteriormente, os valores máximos e mínimos observados são em razão da transmissividade atmosférica e fatores astronômicos, que impactam o BOC, que representa o fator mais influente no Rn. Veloso et al. (2020) também observaram que no verão maiores valores de Rn no verão e menores no inverno e atribuiu este fato à radiação solar global. Fernandes et al. (2021) relatam que além do Rg, a vegetação também é um fator que influencia o Rn, já que modificam o albedo e diminuem a temperatura superficial, reduzindo emissão de ondas longas, o que resulta em maior disponibilidade energética para o meio produtivo.

Para um melhor entendimento de quanto da energia incidente ficou disponível, a Figura 5 também apresenta a relação Rn/Rg. O valor médio dessa relação durante o experimento foi de 0,64, ou seja, 64% da energia solar incidente fica disponível para a superfície, proporção bem próxima da obtida por Querino et al. (2022), no semiárido alagoano.

Esta proximidade entre o resultado obtido por estes autores e o observado no presente trabalho é em função das semelhanças climáticas, uma vez que a região de Campos dos Goytacazes é classificada segundo a classificação climática de Thornthwait como sub-úmido seco, classificação próxima ao semiárido e além disso, a região Norte Fluminense esta passando por um processo de crescimento dos indicadores de aridez (Mendonça, 2023).

No período do experimento, o máximo valor de Rn/Rg foi 0,74, obtido em março de 2018, o que pode ser explicado pela menor saída energética do meio produtivo por meio das ondas longas. Por outro lado, a menor razão Rn/Rg foi de 0,48, em junho de 2015, quando o valor de BOL estava abaixo da média durante o

experimento ( $-4,07 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) e muito inferior aos meses de junho, os de menor radiação solar global.

A menor proporção obtida nesse mês é em razão da emissão de ondas longas acima da média em um mês de baixa incidência de radiação solar. Com isso, pode-se notar que, em virtude da baixa variação do albedo, o fator que mais altera a relação  $R_n/R_g$  é o balanço de ondas longas. De forma geral, durante os meses mais quentes e chuvosos a razão  $R_n/R_g$  é maior, quando comparados aos meses mais frios e secos, assim como observado por Querino et al. (2022).

Pelo coeficiente angular da regressão entre o balanço de ondas curtas (BOC) e o saldo de radiação ( $R_n$ ) é possível calcular o coeficiente térmico ( $\beta_L$ ) e o coeficiente de transformação em ondas longas ( $\lambda_L$ ). Nesse estudo ambos coeficientes foram calculados mensalmente e estão expressos na Figura 6, juntamente com os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão entre o BOC e o  $R_n$ .

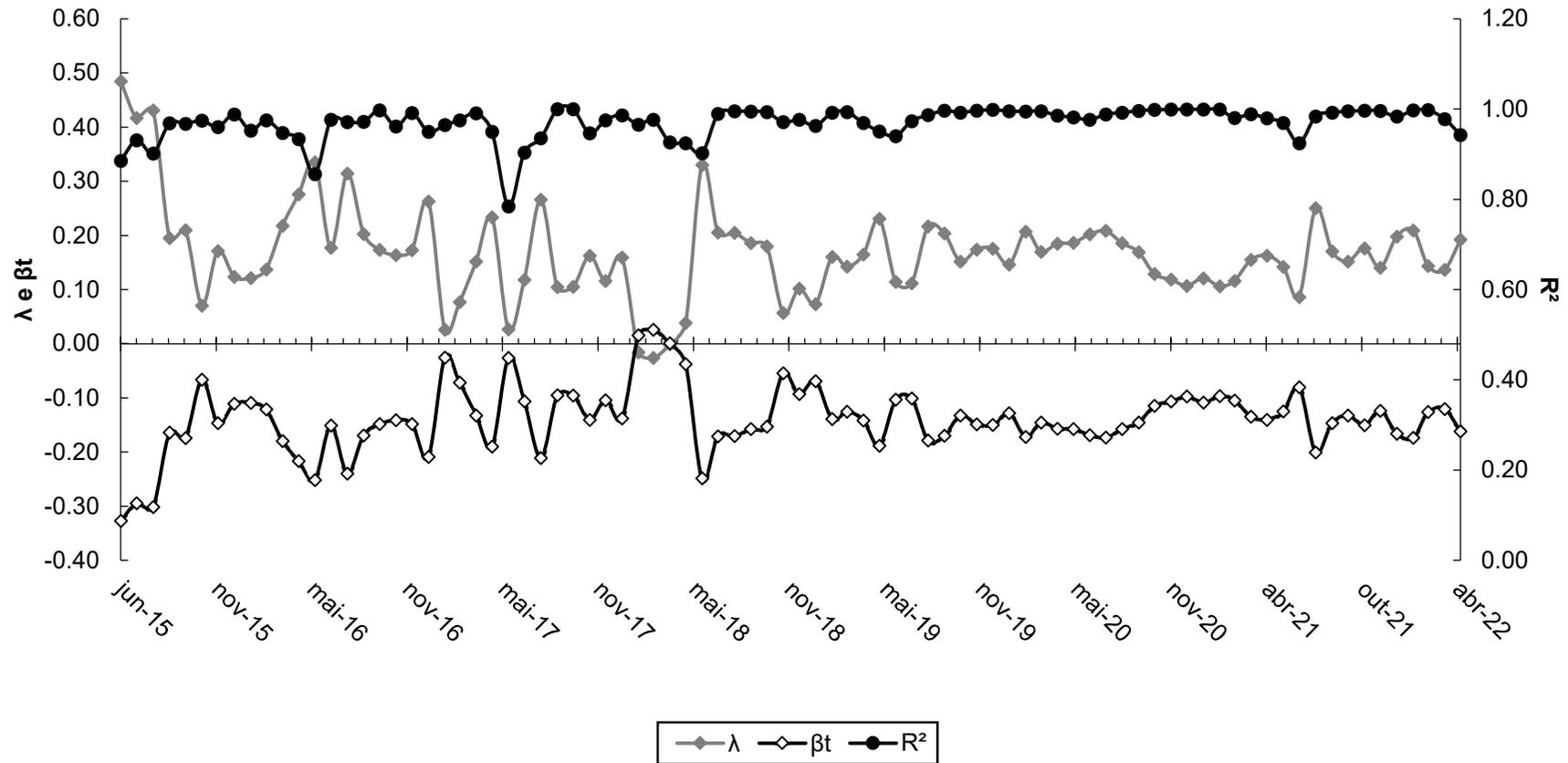


Figura 6: Coeficiente térmico ( $\beta t$ ), Coeficiente de transformação em ondas longas ( $\lambda$ ) e Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão entre BOC e Rn no Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.

Na Figura 6 é possível notar que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) das regressões que geraram os demais coeficientes sempre se manteve alto, apresentando como valor médio 0,97, o que indica um ótimo ajuste. O mês que apresentou menor valor foi junho de 2017, que teve o  $R^2$  de 0,78, o que pode ter sido em função do BOC acima da média para o mês, enquanto o  $R_n$  foi menor que a média dos meses de junho. Essa variação foi em função da ausência de entrada de água no meio produtivo por 10 dias no referido mês, o que gerou um estresse hídrico no cafezal.

O  $\lambda L$  está relacionado a propriedades térmicas do ar, enquanto o  $\beta L$  está relacionado a propriedades térmicas da superfície e indica a parcela do saldo de radiação que é convertida em ondas longas (André et al., 2010a), ou seja,  $\lambda L$  tem relação com  $R_a$  e  $\beta L$ , com  $R_s$ . Segundo Azevedo et al. (2014) o aumento da área foliar é acompanhado pela diminuição de  $\beta L$  e aumento de  $\lambda L$ , o que indica que a maior parcela do saldo de radiação está sendo convertida em calor latente.

De forma geral, pode-se observar que que  $\lambda L$  e  $\beta L$  têm comportamentos opostos, quase simétricos em relação ao eixo das abscissas, contudo  $\lambda L$  apresenta maior amplitude que  $\beta L$ . Durante o período estudado,  $\lambda L$  variou de -0,03 a 0,49, com média de 0,17, enquanto  $\beta L$  apresentou valores de -0,33 a 0,03, com média de -0,14.

O único período que  $\beta L$  foi maior que  $\lambda L$  se deu de fevereiro a abril de 2018, o que indica que a emissão de ondas longas foi superior a conversão em calor latente. Neste período foi observado valores mais elevados de BOL (Figura 5), inclusive o maior valor obtido em todo período ( $-1,89 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ). Na Figura 6 também é possível constatar uma maior variação no início do período avaliado, tendendo a ter variações mais suaves com o passar do tempo, o que pode ser em razão do melhor estabelecimento e maior maturidade fisiológica dos cafeeiros, além disso, no ano agrícola de 2017/2018, houve escassez hídrica no experimento devido aos problemas técnicos nos equipamentos de irrigação, o que pode ter afetado os parâmetros avaliados.

### 5.3 RAZÃO DE BOWEN E CONSISTÊNCIA DO MÉTODO.

O método do balanço de energia por razão de Bowen é uma abordagem micrometeorológica que associa o balanço de energia da superfície terrestre à razão de Bowen ( $\beta$ ), que é a relação entre o calor sensível e o calor latente (Ataide et al.,

2020). Este é um método considerado relativamente prático e seguro, além de favorecer pequenas escalas temporais e precisar de poucos parâmetros de entrada (Dharshini et al., 2022).

Para a realização do balanço de energia sobre o cafeeiro Conilon, calculou-se a razão de Bowen na área experimental a cada 15 min, e o resultado desses cálculos foram compilados em médias mensais, apresentadas na Figura 7, exposto logo abaixo.

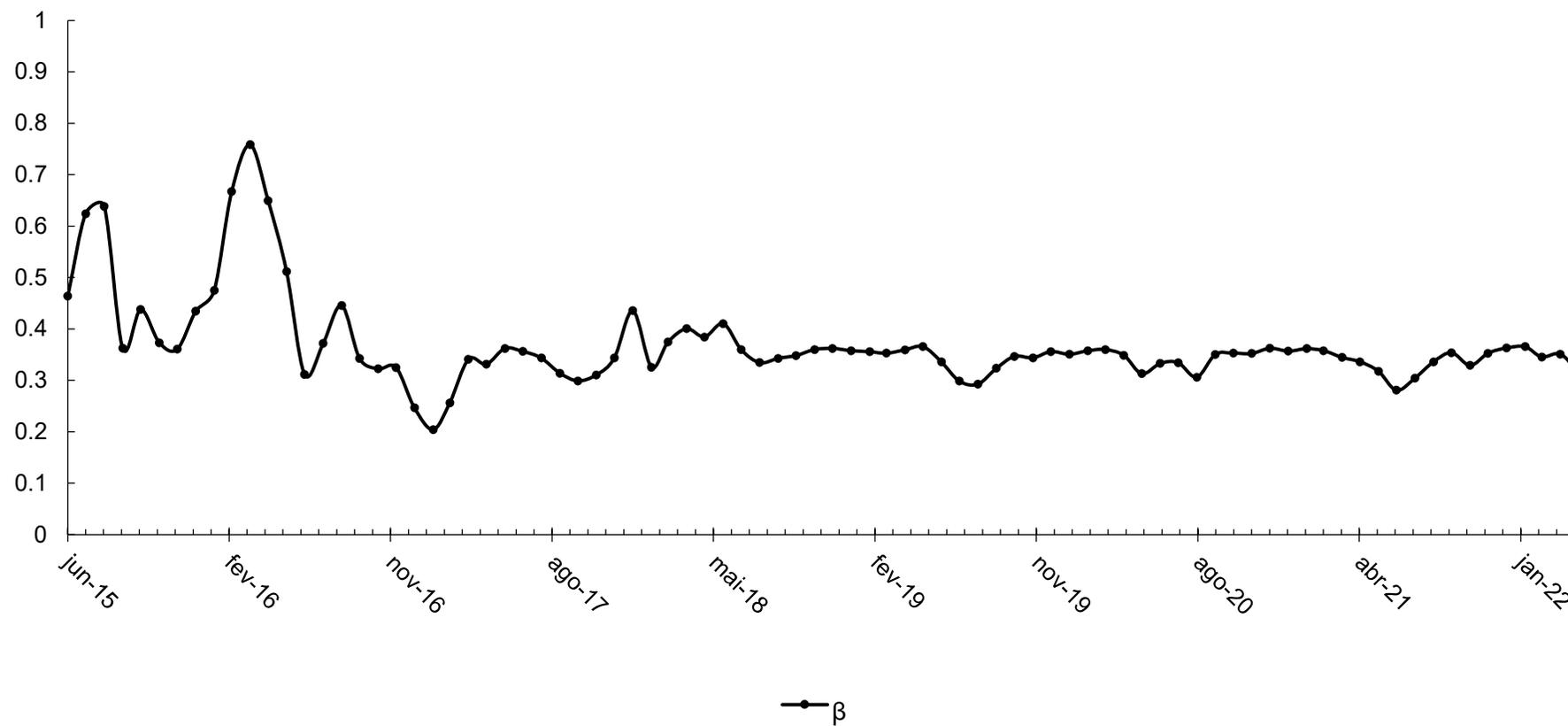


Figura 7: Razão de Bowen sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.

Ao observar a Figura 7, pode-se notar uma variação mais forte em  $\beta$  no início do período experimental. Este comportamento se deve ao fato que nas duas primeiras safras (2015/2016 e 2016/2017) as plantas ainda estavam em fase de desenvolvimento, e na safra de 2017/2018, houve escassez hídrica, como também reportado por Lazzarini et al. (2022) sobre as mesmas plantas.

A partir de julho de 2018, que os valores eram menores nos meses de julho, junho e agosto, período mais seco na região Norte Fluminense. Este resultado é o oposto do obtido por Ataíde et al. (2020), que observaram valores mais altos de  $\beta$  no período secos (médias de 0,44 em 2015 e 0,31 em 2016) e menores no período chuvoso (médias de 0,22 e 0,27, em 2015 e 2016, respectivamente).

Contudo, estes autores obtiveram tal resultado em uma floresta da Amazônia Oriental, região em que o período seco apresenta maiores médias de temperatura, o contrário do que se observou no presente trabalho. Em condições de clima semiúmido a temperatura do ar é o elemento ecoclimático que mais influencia no  $\beta$ , seguido pela cobertura vegetal (Ren et al., 2022). Além disso, por se tratar de um cultivo irrigado, as plantas de Conilon são menos sensíveis a variação de chuva (Venancio et al., 2020). Segundo Dharshini et al. (2022), tanto o  $\beta$ , quanto o fluxo de calor latente são fortemente influenciados pela irrigação.

Durante o período do experimento, o valor máximo obtido da razão de Bowen foi de 0,87, em abril de 2016, o que se deve à temperatura, que estava acima média para o mês, a UR estava abaixo da média do período e a baixa precipitação, além do fato das plantas terem sido submetidas à poda dois meses antes. O mínimo  $\beta$  observado foi de 0,20, em fevereiro de 2017, período em que as plantas estavam com bom status hídrico após um período de estresse por escassez de água.

O valor médio da razão de Bowen obtido no experimento foi de 0,41, valor superior ao obtido por Ataíde et al. (2020). Essa diferença pode ser explicada pela vegetação estudada, já que o ambiente florestal tende a ter melhor cobertura vegetal, o que tende a diminuir o valor de  $\beta$ .

Os métodos de estimativa dos termos do balanço de energia apresentam limitações, o método do balanço de energia por razão de Bowen não é diferente. Sendo assim é necessária a análise dos dados para verificar se o método é realmente representativo. Na Figura 8 é apresentado a porcentagem mensal de erro nos dados, conforme os critérios de Perez et al. (1999).

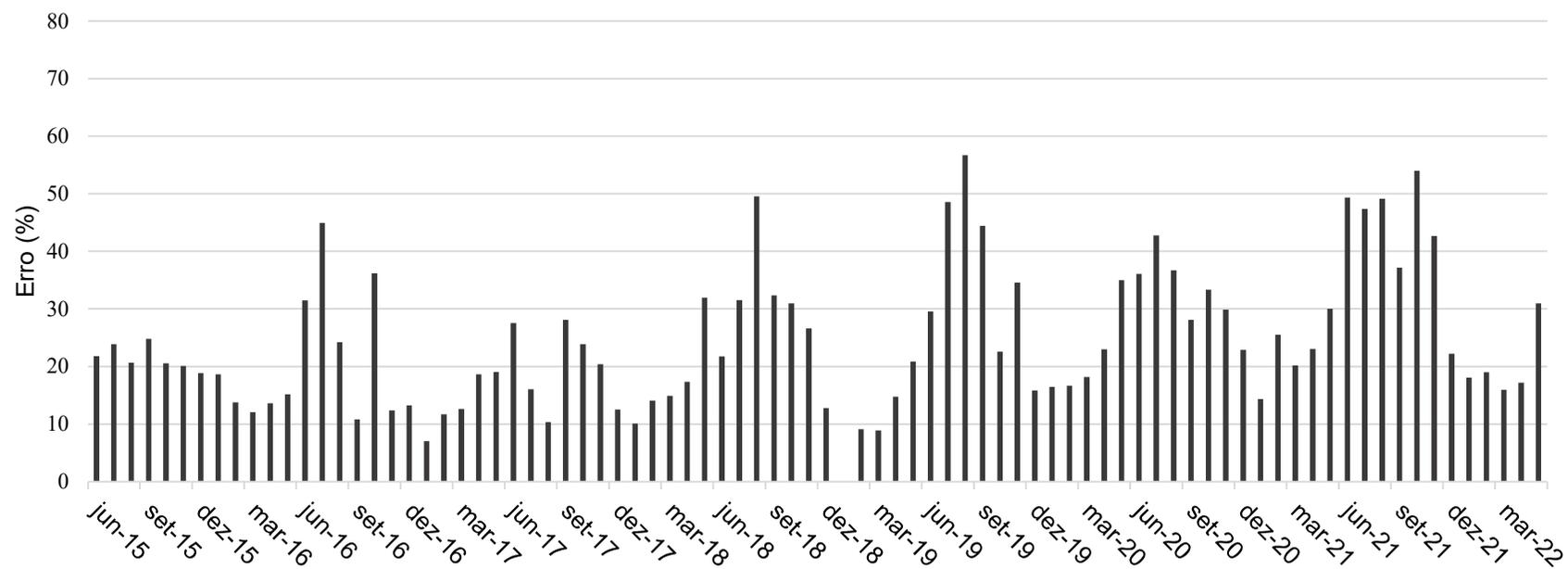


Figura 8: Percentual mensal de dados inconsistentes para o método de Razão de Bowen sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.

Na Figura 8 é possível notar que há uma tendência de menor porcentagem de erros em meses mais chuvosos, que tendem a crescer nos meses mais secos. Isto ocorre, pois em condições muito secas ou com advecção de energia, tornam o método menos consistente (Soares et al., 2007). Por outro lado, em regiões mais úmidas, o período chuvoso tende a apresentar maior inconsistência nos dados, haja vista que durante eventos de chuva interferem nos gradientes necessários para o método (Pinto et al., 2022).

Os meses com menos inconsistências nos dados foram janeiro de 2019, com 3,25% e janeiro de 2017, que apresentou 7,04% de erro nos dados. Em apenas 2 dos 84 meses, os erros foram superiores a 50%, sendo estes, agosto de 2019 (56,66%) e outubro do 2021 (53,99%).

Para melhor entendimento da qualidade dos dados para o método da razão de Bowen, na Figura 9 é apresentado o percentual de dados com erros horários diurnos.

Na Figura 9, pode-se notar que os dados apresentam erros em baixa proporção às 5:00h, porém vão apresentando cada vez mais inconsistências, que acontecem em maior número no período entre às 7:00h e 7:30h, e a partir daí os erros se tornam menos frequentes, até chegar com frequências mínimas entre às 12:00h e 13:00h. Após isso, a frequência de erros tem elevação suave até atingir um segundo “pico” entre às 16:00h e 17:00h, seguida de nova queda para valores muito baixos (<1,00%), sendo que esse padrão na inconsistência dos dados é comum, já que no início da manhã e da noite há uma inversão no fluxo de calor, invertendo os gradientes de vapor e temperatura (Perez et al., 1999; Pinto et al., 2022).

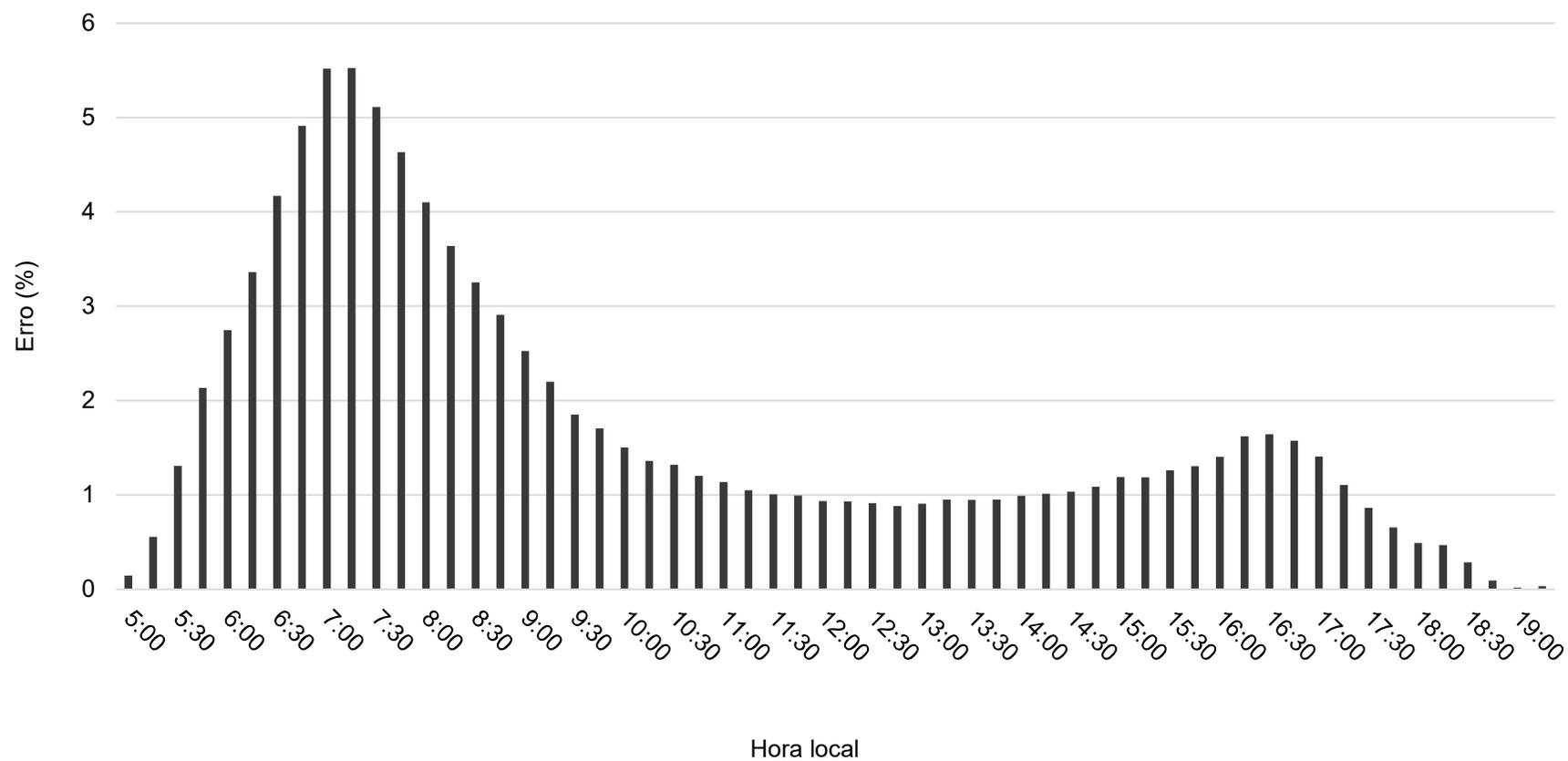


Figura 9: Percentual horário de dados inconsistentes para o método de Razão de Bowen sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de  $\beta$ , os diferentes tipos de erro, a porcentagem de dados inconsistentes e consistentes, por safra avaliada.

Tabela 3: Razão de Bowen ( $\beta$ ), porcentagem dos tipos de erro, de dados inconsistentes (PDI) e de dados consistentes (PDC) por safra avaliada dos cafeeiros Conilon

Safra	$\beta$	Tipos de erros (%)					PDI (%)	PDC(%)
		A	B	C	D	E		
<b>15/16</b>	0.66	4.67	10.03	2.09	0.24	1.64	18.55	81.45
<b>16/17</b>	0.41	9.35	6.83	2.13	0.19	1.35	19.67	80.33
<b>17/18</b>	0.41	6.84	5.32	4.48	0.60	1.99	18.85	81.15
<b>18/19</b>	0.35	9.92	6.88	3.12	0.63	1.21	21.44	78.56
<b>19/20</b>	0.34	13.89	13.78	1.19	0.23	0.56	29.45	70.55
<b>20/21</b>	0.34	12.94	9.29	4.36	0.44	1.27	27.97	72.03
<b>21/22</b>	0.34	16.35	13.19	0.14	0.01	4.62	33.14	66.86
<b>Média</b>	0.41	10.57	9.33	2.50	0.34	1.81	24.15	75.85

Observando aos valores de  $\beta$  na Tabela 3 pode-se notar que a razão de Bowen foi decrescendo com o passar das safras, até atingir o valor de 0,34 na safra 19/20, que se manteve estável até o fim do período avaliado. O valor de  $\beta$  é inversamente proporcional ao fluxo de calor latente, ou seja, quanto maior os valores, mais a energia disponível está sendo convertida em calor sensível (Dharshini et al., 2022).

Com isso, pode-se inferir que nas primeiras safras mais energia estava sendo convertida em calor sensível, quando comparada às últimas safras. Este cenário pode ser explicado pela imaturidade fisiológica do Conilon nas primeiras duas safras, o que implicou em uma menor cobertura do solo, parâmetro que exerce influência sobre  $\beta$  (Ren et al., 2022). A terceira safra, por sua vez, foi impactada por um déficit hídrico, o que explica o valor de  $\beta$  mais elevado, já que o valor da razão de Bowen depende da condição hídrica da superfície evaporante (Ataide et al., 2020).

Quanto aos tipos de erro, pode-se notar que as inconsistências mais comuns observadas foram do tipo A e B, ou seja, condições de  $R_n - G > 0$ ,  $\Delta e > 0$  e  $\beta < -1 + |\epsilon|$ , e  $R_n - G > 0$ ,  $\Delta e < 0$  e  $\beta > -1 - |\epsilon|$ , respectivamente. Souza et al. (2021) também observaram uma proporção elevada de erro tipo B, sendo o maior tipo de erro observado em seu estudo, contudo não encontrou erros do Tipo A, o mais comum na

presente pesquisa. Essa diferença pode ser explicada pelas condições climáticas bem distintas entre o Norte Fluminense e o Nordeste Paraense, onde o estudo desses autores foi conduzido. Por outro lado, Souza et al. (2021) também obtiveram baixas porcentagens de erros C, D e E, assim como neste experimento.

Ainda sobre a Tabela 3, é possível observar que o 75,85% dos dados diurnos foram consistentes entre junho de 2015 e maio de 2022. Este valor foi superior a outros encontrados na literatura, como 66,5% encontrado por Pinto et al. (2022), 62,3% obtido por Pereira et al., (2017), e os 72,0% observado por Souza et al. (2021). Além disso, o percentual de consistência dos dados foi acima do mínimo de 60% indicado por Perez et al. (1999), o que indica boa precisão dos resultados obtidos no presente trabalho.

Pode-se observar ainda, que houve uma tendência de aumento nos percentuais de dados inconsistentes com o passar das safras, chegando a 33,14% de dados com erro na safra 2021/2022. Contudo, mesmo este valor sendo mais elevado que os dos demais anos, ainda está dentro do aceitável para a metodologia, já que normalmente até 40% dos dados podem ser eliminados (Perez et al., 1999).

#### 5.4 BALANÇO DE ENERGIA

Para um melhor entendimento sobre os processos energéticos ocorridos no cultivo do café Conilon, utilizou-se o método de balanço de energia por razão de Bowen para determinar os fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e o fluxo de calor para o solo (G), com base no saldo de radiação ( $R_n$ ). Os componentes foram calculados em escalas mensais de junho de 2015 a maio de 2022 e são apresentados na Figura 10.

Como explicitado anteriormente, a radiação líquida foi influenciada principalmente pela variação de BOC, que por sua vez, é modulada pelo majoritariamente pelo  $R_g$ . Assim, os valores de  $R_n$  são maiores no verão (período chuvoso) e menores no inverno (período seco), como explicado no item 5.2 do presente trabalho.

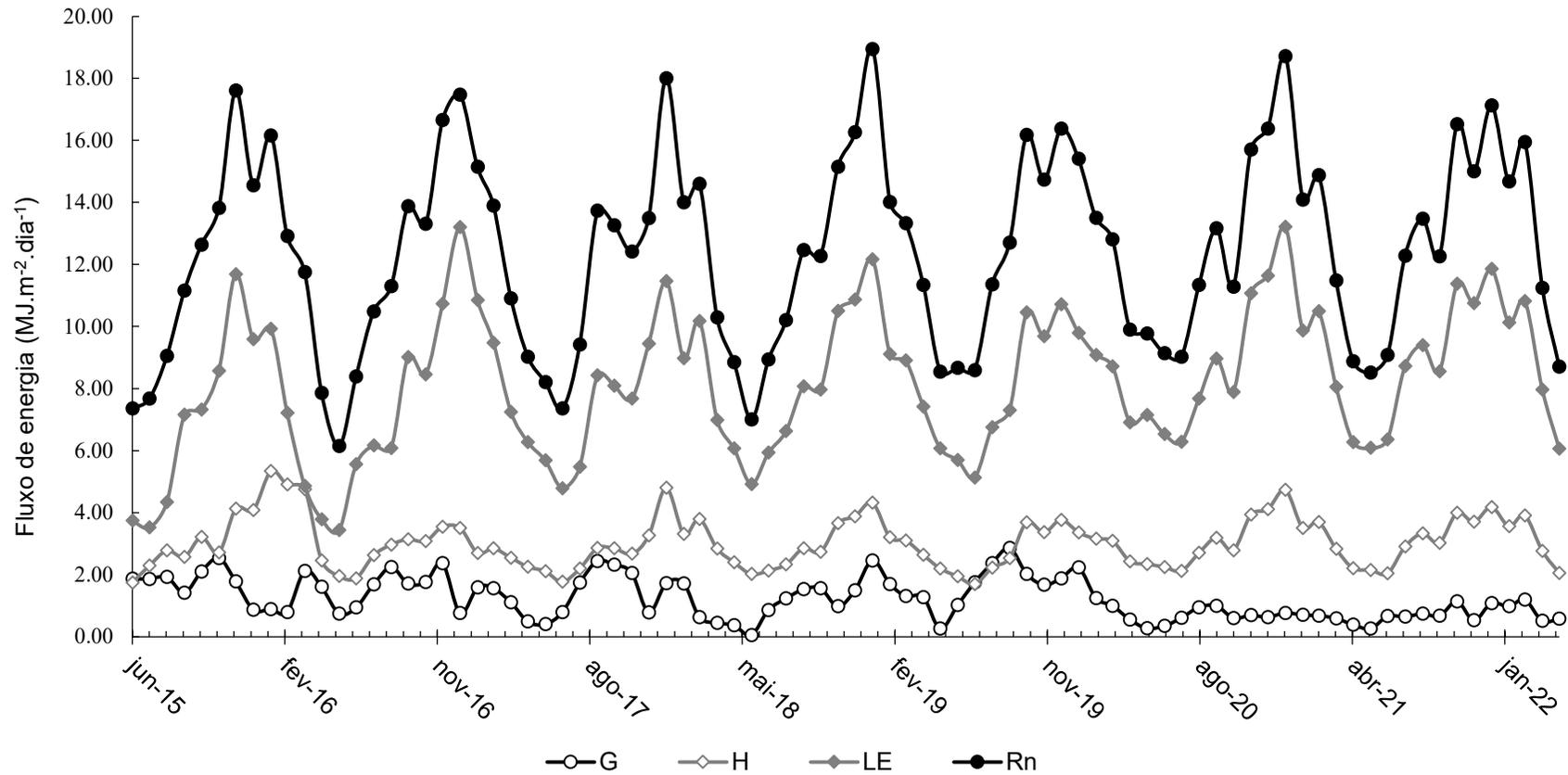


Figura 10: Variação mensal dos componentes do balanço de energia sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022. G: fluxo de calor para o solo; H: fluxo de calor sensível; LE: fluxo de calor latente; Rn: saldo de radiação.

O componente do balanço de energia com maior magnitude, exceto o  $R_n$ , foi o fluxo de calor latente (LE), que foi superior aos demais durante todo o período avaliado, o que indica que, apesar de momentos de restrição hídrica, o cultivo continuou evapotranspirando sem grandes restrições estomáticas. Este fato pode ser explicado pela capacidade de adaptação à seca do cafeeiro Conilon, que acontece por meio da maior eficiência de extração de água do solo e pela taxa de uso de água (DaMatta e Ramalho, 2006).

Assim, pode-se inferir que não houve estresse hídrico demasiadamente forte, o que pode ser atestado também pela baixa variação de albedo, característica responsiva à cobertura e coloração vegetal. Contudo, o déficit hídrico é um limitante na produção de café, pode causar redução de tamanho dos grãos e baixar a produtividade (Cintra et al., 2020). Também a proporção dos danos depende do estágio fenológico das plantas e da duração do estresse (DaMatta e Ramalho, 2006).

O máximo valor de LE foi de  $13,21 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , obtido em janeiro de 2017, mês com alta temperatura, baixa UR e com disponibilidade de energia líquida considerável, o que indica que o atmosfera se encontrava com alto déficit de pressão de vapor. Além disso, os três meses anteriores tiveram elevados volumes de precipitação pluviométrica. Sendo assim, pode-se inferir que nesse período a planta se encontrava com bom status hídrico e a atmosfera estava ávida por humidade, o que culminou em um alto valor de LE.

Por outro lado, o mínimo valor de LE observado foi de  $3,44 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em junho de 2016. Este baixo valor pode ser explicado pelo baixo saldo de radiação no período, o qual também apresenta seu menor valor nesse mês. Além disso, o cultivo foi submetido à poda nesse período, o que diminui a área foliar, que afeta diretamente o fluxo de calor latente do cultivo (Dharshini et al., 2022).

Durante o período do experimento o valor médio de LE foi de  $8,14 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , valor acima dos  $7,29 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  encontrados por Dharshini et al. (2022) avaliando sorgo irrigado (*Sorghum bicolor*), e bem próximo dos  $8,12 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  observados por Souza et al. (2021) ao estudar um plantio de açai (*Euterpe oleracea* Mart.) irrigado e dos  $8,00 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  observados por Ataide et al. (2020) sobre uma floresta nativa na Amazônia oriental. A comparação entre os cultivos reforça a ideia que no geral o cultivo teve bom aporte hídrico, sobretudo levando em consideração que LE sobre o Conilon foi maior ao encontrado sobre uma floresta nativa.

Durante a maioria dos meses avaliados, o fluxo de calor no sensível foi segundo componente em que o  $R_n$  mais foi convertido e atingiu seu valor de  $5,34 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em fevereiro de 2016, quando havia notável quantidade de energia líquida disponível e período em que as plantas haviam passado por manejo de poda. Práticas agrícolas que alteram a cobertura do solo podem impactar todo o equilíbrio energético (Liu et al., 2022). Com isso, pode-se inferir que a poda reduziu o LE e, devido a alta energia líquida disponível, houve aumento em H.

Por outro lado, o mínimo valor obtido de H foi  $1,70 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em julho de 2019, mês que o fluxo de calor para o solo chegou a superar o H. A baixa magnitude desse valor deve-se, em um primeiro momento, à baixa energia líquida disponível, mas também pelo bom status hídrico do plantio, haja visto que no mês anterior (maio de 2019) houve volume expressivo de chuva (Figura 2). Segundo Veloso et al. (2020), a presença de água no meio aumenta a quantidade de energia utilizada para ser transformada em vapor, o que reduz a energia disponível para H.

O valor médio do fluxo de calor sensível (H) foi de  $3,02 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , valor superior aos  $2,70 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  encontrados por Ataíde et al. (2020) em uma floresta nativa da amazônia e ao  $1,23 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  obtido em um plantio de sorgo por Dharshini et al. (2022). Esta superioridade no valor pode ser explicada pelo maior  $R_n$  disponível no cultivo de Conilon.

Na Figura 10 também são apresentadas as médias mensais de fluxo de calor no solo (G), o componente do balanço de energia de menor magnitude durante a maior parte do experimento. O valor de G só foi superior ao H no primeiro mês avaliado e nos meses de julho a setembro de 2019. Em condições normais, os valores de G variam em função de  $R_n$  e do grau de exposição do solo, que quanto mais é exposto, mais aquece, aumentando o fluxo de energia no mesmo (Ataíde et al., 2020).

O valor máximo de G foi de  $2,86 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , obtido em setembro de 2019, quando o solo estava exposto pela realização de tratamentos culturais, com ambiente considerável energia líquida disponível e considerável volume de chuva, o que aumenta a umidade do solo e conseqüentemente o G (Veloso et al., 2020; Wu et al., 2020).

O valor mínimo, observado em junho de 2018, foi de  $0,06 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , em função da baixa  $R_n$  disponível, comum para o período, e também pela cobertura do solo por vegetação espontânea e pela baixa umidade do solo, que se deu pela baixa

precipitação e maiores intervalos entre irrigações, o que resultou em até 11 dias seguidos sem entrada de água no ambiente produtivo.

O valor médio de  $G$  durante o experimento foi de  $1,23 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , valor inferior aos  $1,38 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  encontrados por Dharshini et al. (2022) em sorgo, o que pode ser explicado pelo porte da cultura, fazendo com que o Conilon impeça que mais radiação solar atinja diretamente o solo.

De forma geral, pode-se notar que  $LE$  e  $H$  variam em fase com o  $R_n$ , com maiores valores nos períodos mais quentes e chuvosos e menores nos meses mais frios e secos. Porém, há momentos que  $G$  tem aumento em seus valores mesmo com queda nos valores de  $R_n$  e em outros momentos há diminuição nos valores de  $G$  mesmo com elevação nos valores de  $R_n$ . Este cenário pode ser explicado pelas variações de umidade e cobertura do solo.

Ainda sobre a Figura 10, é perceptível que os valores de  $G$  apresentam maiores amplitudes do início do período avaliado até o final da safra 2019/2020, contudo a partir do início da safra 2020/2021 o fluxo de calor no solo se torna mais estável. Este fato é em função da maior maturidade do cultivo, que passou a oferecer maior sombreamento ao solo e apresentar mais resiliência a fatores bióticos e abióticos e também pela correta suplementação hídrica.

Como ressaltado anteriormente, os componentes do Balanço de Radiação variam influenciados pela  $R_n$ , principalmente  $Le$  e  $H$ . Então, para melhor observar de forma mais independente os fluxos de energia, na Figura 11 são apresentadas as frações em que  $Le$ ,  $H$  e  $G$  representam de  $R_n$  para cada um dos meses estudados.

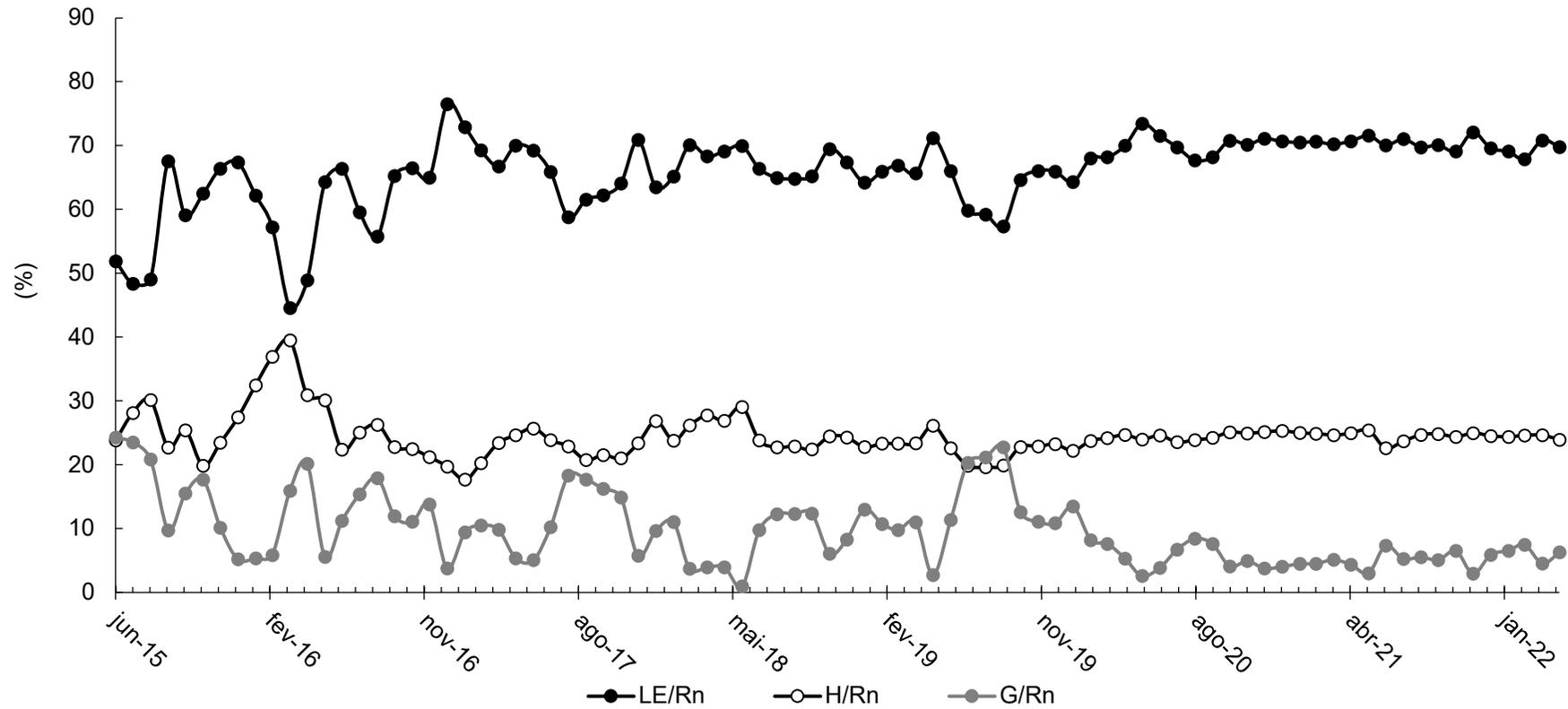


Figura 11: Variação mensal da razão entre os fluxos de calor e o saldo de radiação sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022. LE/Rn: razão entre fluxo de calor latente e saldo de radiação; G/Rn: razão entre fluxo de calor para o solo e saldo de radiação; H: razão entre fluxo de calor sensível e saldo de radiação.

Na Figura 11 ficam mais claras as oscilações entre as razões dos fluxos de calor e a radiação líquida, que acontecem em maior amplitude nas duas primeiras safras, passando a ser mais suaves nas safras 2017/2018 e em quase toda safra 2018/2019. Também é possível observar que de maio de 2019 a janeiro de 2020 a amplitude das variações aumentaram, sobretudo em  $LE/R_n$  e  $G/R_n$ , que até chegou a superar a razão  $H/R_n$  entre julho e setembro de 2019, como mencionado previamente. Após esse período, é notável uma estabilidade na relação entre os fluxos de calor e a radiação líquida até o fim do período analisado.

A maior fração de  $R_n$  foi convertida em calor latente, em média 65,94% da radiação líquida, o que é comum em ambientes agrícolas de bom status hídricos (Azevedo et al., 2014; Dharshini et al., 2022; Pinto et al., 2022; Veloso et al., 2020; Teixeira, 2001). O máximo valor de  $LE/R_n$  foi de 76,48 %, em fevereiro de 2017, um mês após o máximo  $LE$  observado.

Esta observação se deve à alta temperatura, baixa umidade, e bom abastecimento hídrico ao qual a planta estava exposta e também do metabolismo da planta que tende a aumentar, já que neste período além do enchimento de grãos, também ocorre o crescimento vegetativo no Conilon, o que aumenta o volume da evapotranspiração do mesmo (Covre et al., 2022; Ferrão et al., 2017).

Por outro lado, o mínimo  $LE/R_n$  observado foi de 44,57%, em abril de 2016, dois meses antes do mínimo  $LE$  obtido. Esta baixa fração se deve principalmente a área foliar mais baixa por conta da poda realizada em fevereiro de 2016, e pela fase de maturação a qual o cultivo se encontrava, caracterizada por metabolismo um pouco mais lento, logo, há menor evapotranspiração (Ferrão et al., 2017).

Já a relação  $H/R_n$  possui média de 24,46%, segunda maior razão, somente após o  $LE/R_n$ , assim como observado por Azevedo et al. (2014) em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e Pinto et al., (2022) em lima ácida Tahiti (*Citrus latifolia*). Contudo, há relatos de cultivos onde a  $H/R_n$  é inferior a  $G/R_n$ , como no estudo sobre bananeira (*Musa* spp.) irrigada de Teixeira (2001), que atribui tal fato à advecção de umidade do Rio São Francisco e no estudo sobre sorgo de Dharshini et al. (2022), que pode ser explicado pela menor cobertura que as plantas ofertam ao solo, dada sua morfologia.

Ainda na Figura 11, pode-se observar que o máximo valor de  $H/R_n$ , 39,50%, foi observado em abril de 2016, mês do menor valor relação  $LE/R_n$ , assim como o mínimo  $H/R_n$ , 17,68%, foi obtido em janeiro de 2017, quando o  $LE/R_n$  foi máximo.

Este cenário se deve à concorrência entre os fluxos de calor latente e sensível, uma vez que ambos utilizam a mesma fonte de energia, o Rn.

A energia disponível é preferencialmente convertida em fluxo de calor latente, desde que as condições ambientais ofereçam condições para tal (demanda hídrica atmosférica, umidade no solo e área foliar considerável), assim, para maiores valores de H, são necessárias uma ou mais condições ambientais que diminuam o LE (Azevedo et al., 2014; Veloso et al., 2020)

A relação G/Rn teve média de 9,60% no período avaliado, e variou de 0,97%, em junho de 2018, a 24,29%, em junho de 2016. Este máximo G/Rn deve-se a menor cobertura do solo em função, por ainda se tratar de um cultivo jovem, além da umidade presente no solo por causa da precipitação acima da média no período, que contribui no aumento nos valores de G. Já o mínimo observado pode ser explicado pelo aumento da cobertura do solo causada pelo maior desenvolvimento vegetativo em decorrência do restabelecimento do sistema de irrigação.

Para uma melhor compreensão das variações que ocorreram entre as safras avaliadas, a Tabela 4 apresenta as médias dos componentes do balanço da radiação (Rn, LE, H e G) e as razões entre os fluxos de calor e saldo de radiação (LE/Rn, H/Rn e G/Rn) para cada uma das sete safras avaliadas.

Tabela 4: Média dos componentes do balanço de radiação\* e partição diurna do saldo de radiação em diferentes safras de Café Conilon em Campos dos Goytacazes

Saфра	Rn	LE	H	G	LE/Rn	H/Rn	G/Rn
	MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>				(%)		
<b>15/16</b>	11.88	6.81	3.42	1.65	57.08	28.40	14.52
<b>16/17</b>	12.22	8.04	2.76	1.42	66.51	23.00	10.49
<b>17/18</b>	11.97	7.77	2.91	1.29	65.73	24.22	10.05
<b>18/19</b>	12.37	8.22	2.93	1.23	66.83	24.05	9.11
<b>19/20</b>	12.50	8.12	2.80	1.58	65.24	22.48	12.28
<b>20/21</b>	12.84	9.00	3.17	0.67	70.15	24.69	5.17
<b>21/22</b>	12.90	9.01	3.14	0.76	70.06	24.39	5.55
<b>Média</b>	12.38	8.14	3.02	1.23	65.94	24.46	9.59

\*Rn: saldo de radiação; LE: fluxo de calor latente; H: fluxo de calor sensível; G:fluxo de calor no solo.

O saldo de radiação apresentou um crescimento entre a safra 15/16 e 16/17, porém apresentou uma pequena queda na safra 17/18, em função de menor Rg e

menor  $K_t$  nos meses mais quentes desta safra. A partir da safra 18/19 houve um suave crescimento a cada ano agrícola até a safra de 21/22, que apresentou o maior valor médio de  $R_n$ .

O fluxo de calor latente (LE) e a fração deste da energia líquida, assim como o  $R_n$ , apresentou um aumento entre as duas primeiras safras, seguidas de uma queda na terceira, que teve como causa, além da diminuição do  $R_n$ , o período de déficit hídrico ocorrido. Entre a terceira e a quarta safra (17/18 e 18/19, respectivamente) houve novo aumento de LE e LE/ $R_n$ , seguido de uma pequena queda na quinta safra, que pode ser explicada pela variação metabólica que ocorre no Conilon, visto sua característica de bienalidade (Melo et al., 2022; Mendonça et al., 2011). As safras 20/21 e 21/22 apresentam os maiores valores de LE (9,00 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> e 9,01 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, respectivamente) e de LE/ $R_n$  (70,15% e 70,06%, respectivamente).

O fluxo de calor sensível e sua fração da radiação líquida, que tem na primeira safra seus maiores valores (3,42 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> e 28,40%, respectivamente), apresenta uma queda entre as safras 15/16 e 16/17 e tem aumento na safra 17/18, pela mesma motivação da queda de LE. Nas safras 17/18 a safra 18/19, o H e o H/ $R_n$  se mantiveram quase constantes, caindo em 19/20, seguido de um leve aumento, e se mantendo estáveis nas últimas duas safras.

O fluxo de calor no solo e a fração deste do saldo de radiação, assim como H e H/ $R_n$ , tiveram seus maiores valores na safra 15/16 (1,65 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> e 14,52%, respectivamente) e apresentaram queda até a safra de 18/19. Na safra 19/20 houve um grande aumento em G e G/ $R_n$ , o que foi motivado pelos tratos culturais aplicados no cultivo (poda e controle de plantas daninhas) (Zheng et al., 2021). Após isso, na safra 19/20 houve uma grande queda em G e G/ $R_n$ , que atingiram seus menores valores (0,67 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> e 5,17%, respectivamente), que permaneceram quase iguais na última safra.

Em um aspecto geral, pode-se notar que houve uma tendência de crescimento de LE e diminuição de H e G no decorrer das safras, contudo variação dos valores de H/ $R_n$  é bem menor que a observada para G/ $R_n$  (4,01% e 8,97%).

Para um melhor entendimento da partição de energia no café Conilon conforme sua fenologia, a Tabela 5 apresenta as médias dos componentes do balanço de radiação e o percentual que cada fluxo de energia representa do  $R_n$  conforme o estágio fenológico das plantas.

Tabela 5: Média dos componentes do balanço de radiação\* e partição diurna do saldo de radiação em diferentes estádios vegetativos de Café Conilon em Campos dos Goytacazes

Estádios	Rn	LE	H	G	LE/Rn	H/Rn	G/Rn
	MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>				(%)		
<b>Pré-floração</b>	8.09	5.35	2.08	0.68	66.04	25.65	8.31
<b>Floração</b>	10.19	6.37	2.43	1.36	62.58	23.81	13.61
<b>Chumbinho</b>	12.88	8.14	2.98	1.70	64.07	23.25	12.68
<b>Expansão de frutos</b>	14.81	9.94	3.48	1.44	67.54	23.48	8.98
<b>Granação</b>	16.11	10.89	3.91	1.28	68.47	24.31	7.23
<b>Maturação</b>	12.19	8.12	3.22	0.88	66.97	26.29	6.74
<b>Média</b>	12.38	8.14	3.02	1.23	65.94	24.46	9.59

\*Rn: saldo de radiação; LE: fluxo de calor latente; H: fluxo de calor sensível; G:fluxo de calor no solo.

É possível observar na Tabela 5 que da fase da pré-floração ao estágio de granação há crescimento nos valores de Rn, seguido de queda na fase de maturação, o que ocorre por conta das condições de clima de cada fase. A pré-floração acontece nos meses de menor Rg (inverno), que são os meses intermediários do ano, como explicado anteriormente. A fase da floração ocorre no fim do inverno, quando o Rg volta a ter aumento. A fase chumbinho ocorre na primavera, enquanto a expansão de frutos ocorre na transição entre primavera e verão.

O estágio de granação tem maior valor de Rn por acontecer durante o verão quando Rg é máximo, enquanto a maturação ocorre na transição do verão para o outono, quando o Rg passa a diminuir. Pode-se notar que a energia disponível é altamente dependente de Rg, o ocorre em função da baixa variação do BOL e da baixa variação de albedo que ocorreu no cafeeiro.

Também é possível notar na Tabela 5 que LE e H apresentam mesma tendência de variação que Rn, aumentando da floração à granação, seguido por redução durante a maturação, contudo os valores de LE são mais que o dobro de H em todos os estádios.

O G, por sua vez, apresenta crescimento da pré-floração à chumbinho, e a partir de então apresenta redução nos valores. Esta diminuição nos valores de G se dá em função da maior cobertura do solo, causada pela maior área foliar do Conilon a partir da fase de expansão dos frutos, em que há um aumento na atividade metabólica, e conseqüentemente, de crescimento vegetativo (Ferrão et al., 2017).

Ao atentar-se à partição de  $R_n$ , nota-se que da fase de pré-floração à floração há uma queda em  $LE/R_n$  e  $H/R_n$  e um aumento expressivo em  $G/R_n$ , o que é em função da baixa área foliar do período e da umidade do solo promovida pela irrigação, que tendem a causar aumento em  $G$  (Veloso et al., 2020; Wu et al., 2020).

Nos estádios de chumbinho à granação, houve aumento em  $LE/R_n$ , que ocorre pela intensificação das atividades metabólicas, maior área foliar e pelo crescimento das temperaturas (Covre et al., 2022; Ferrão et al., 2017). Já  $H/R_n$  oscilou entre incremento e decréscimo, nos primeiros estádios, até apresentar crescimento constante a partir da fase de expansão dos frutos até a granação. Essa observação pode ser explicada pela redução de  $G$ , fazendo que  $H/R_n$  cresça, mesmo com o crescimento de  $LE/R_n$ . A partir da fase chumbinho houve decréscimo na relação  $G/R_n$ , que atingiu sua menor razão na fase chumbinho.

Na maturação há uma queda na relação  $LE/R_n$  e um incremento em  $H/R_n$ , o que acontece em função da menor taxa metabólica das plantas durante essa fase, reduzindo  $LE$ , fazendo que mais energia fique disponível para  $H$  (Covre et al., 2022; Veloso et al., 2020)

## 5.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DA CULTURA

A partir do fluxo de calor latente diurno calculado, discutido anteriormente, e do calor de vaporização da água foi possível calcular a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) do Conilon. Além disso, baseado na equação Penman-Monteith (Allen et al., 1998), foi calculado a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) da área experimental. Com base na razão entre estas variáveis, obteve-se o coeficiente da cultura ( $K_c$ ) para cada um dos meses analisados. Estas informações estão apresentadas na Figura 12, encontrado a seguir.

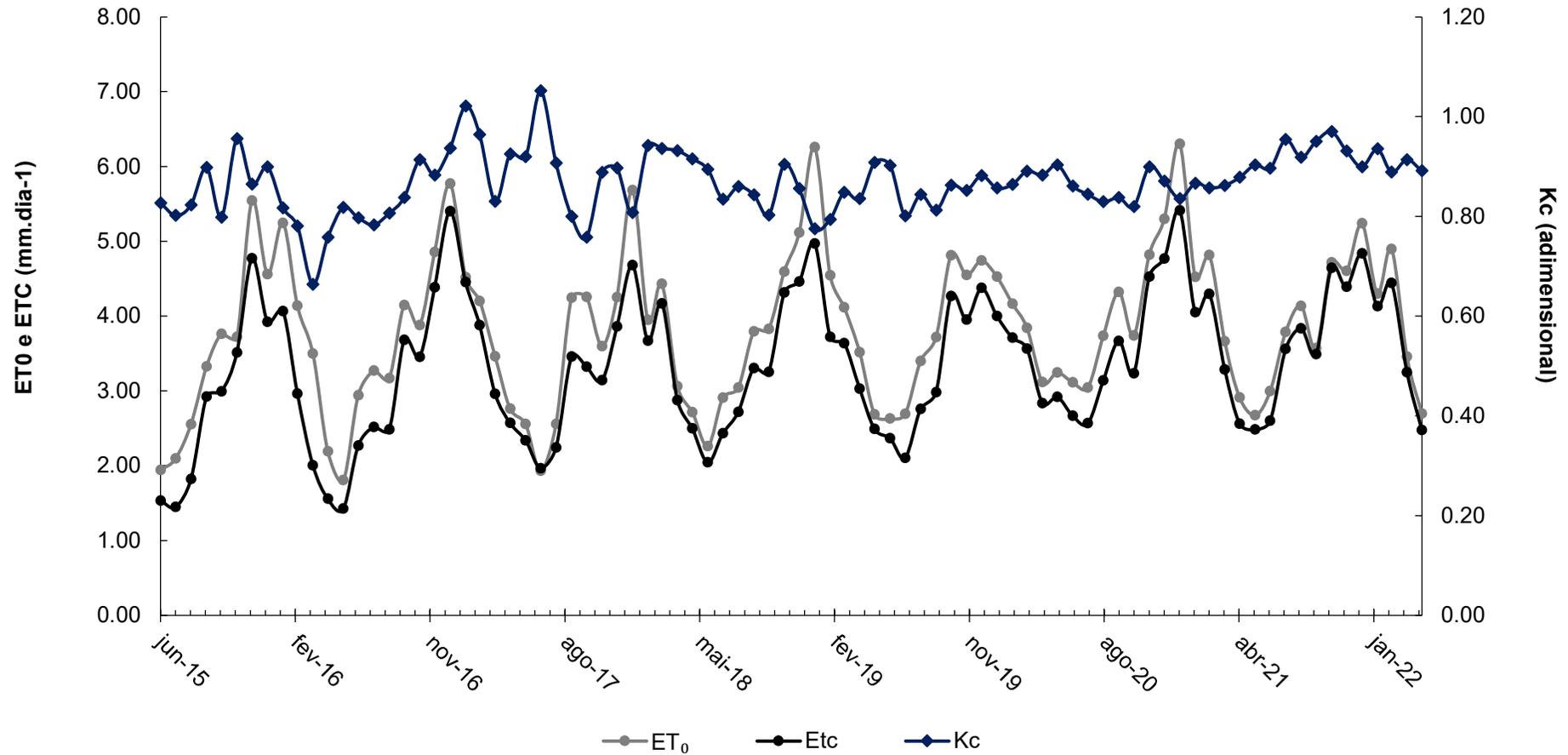


Figura 12: Variação mensal evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e coeficiente da cultura ( $K_c$ ) no Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.

Conforme a Figura 12, pode-se notar que as variações de  $ET_0$  são similares às observadas em  $R_n$ , que por sua vez, tem similaridade com as variações de  $R_g$ . Essa observação é comum, já que a radiação líquida é o principal impulsionador da evapotranspiração de referência (Petkovic et al., 2020; Wang et al., 2021). A  $ET_0$  apresenta maiores valores quando o café se encontra entre a fase de granação e maturação, e menores quando as plantas estão na transição entre os ciclos produtivos, ou seja, na colheita e no início de uma nova safra.

A máxima  $ET_0$  foi de  $6,30 \text{ mm.dia}^{-1}$ , observada em janeiro de 2021, mês que a BOC também foi máxima e do segundo maior  $R_n$  observado. Em contrapartida, a mínima  $ET_0$  foi  $1,81 \text{ mm.dia}^{-1}$ , em junho de 2016, mês em que o  $R_n$  foi mínimo. A média da evapotranspiração de referência durante todo o experimento foi de  $3,81 \text{ mm.dia}^{-1}$ . Este valor é bem próximo aos  $3,62 \text{ mm.dia}^{-1}$  encontrados por Paes et al. (2012) na mesma estação experimental do presente estudo.

A evapotranspiração da cultura variou de forma similar a  $ET_0$ , porém esta última atingia valores mais altos ( $> 6,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ ), nem sempre a  $ET_c$  aumentava com intensidade similar. Essa diferença pode ser explicada pela disponibilidade hídrica, que se for restrita, leva a planta a diminuir a abertura estomática, impedindo uma elevação acentuada de  $ET_c$ . Segundo Veloso et al. (2020) a disponibilidade de água é fundamental para a evapotranspiração da cultura. Além disso, mesmo com abastecimento hídrico satisfatório, há evidências que quando o déficit de pressão de vapor excede os  $2,00 \text{ KPa}$ , há redução na condutância estomática em plantas de café (Venancio et al., 2020).

A máxima  $ET_c$ , de  $5,41 \text{ mm.dia}^{-1}$ , foi observada em janeiro de 2021, assim como a máxima  $ET_0$ . Por outro lado, a mínima  $ET_c$  foi de  $1,43 \text{ mm.dia}^{-1}$ , em junho de 2016, mês em que houve a mínima  $ET_0$ . A evapotranspiração da cultura média durante o experimento foi de  $3,33 \text{ mm.dia}^{-1}$ , valor abaixo dos  $3,95 \text{ mm.dia}^{-1}$  observado por Costa et al. (2019) em cafezais adultos e dos  $4,09 \text{ mm.d}^{-1}$  obtidos por Castaño-Marín et al. (2022) em plantação adulta de *Coffea arabica*, porém foi superior aos  $3,2 \text{ mm.d}^{-1}$  obtido por Marin et al. (2005) num estande de *C. arabica* de cinco anos de idade.

O coeficiente de cultura indica o potencial de evapotranspiração de uma cultura, e varia conforme a morfologia, resistência aerodinâmica da copa das plantas e da resistência estomática das folhas. Este parâmetro pode ser influenciado também

pela água extraível do solo e por tratos culturais que alterem a área foliar, como as podas (Ding et al., 2015; Zheng et al., 2021)

O Kc, assim como LE/Rn, apresenta uma amplitude de variação no início do cultivo, o que pode ser explicado pela pouca idade das plantas nas duas primeiras safras e pela restrição hídrica na safra 17/18. Também é possível notar que o Kc tende a se elevar nos meses mais frios do ano e reduzir nos meses de pico de  $ET_0$ , em função do controle estomático.

O Kc médio obtido no presente trabalho foi de 0,87, valor bem próximo aos 0,85 obtido por Costa et al., (2019) e aos 0,9 comumente utilizados no estado do Espírito Santo (Magiero et al., 2017). O máximo Kc obtido durante o experimento foi de 1,05, em e julho de 2017, mês em que as plantas entraram em fase de florescimento, estágio em que o Conilon demanda mais água, pela alta taxa metabólica. Além disso, nesse mês a precipitação foi acima da média do período, o que contribuiu para a manutenção da umidade do solo, o que evita uma maior resistência estomática. Por outro lado, o mínimo Kc foi de 0,66, em abril de 2016, período em que também se obteve a razão mínima de LE/Rn, em razão de uma menor área foliar por conta da poda realizada dois meses antes deste mês e pela menor exigência hídrica do Conilon durante a fase de maturação, estágio em que se encontrava no momento (Ferrão et al., 2017).

A Tabela 6 apresenta as médias por safra de evapotranspiração de referência, da evapotranspiração da cultura e do coeficiente de cultura, para uma melhor compreensão do comportamento quanto à demanda hídrica do Conilon em função da idade e manejo.

Tabela 6: Média evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e coeficiente da cultura ( $K_c$ ) em diferentes safras de Café Conilon em Campos dos Goytacazes

Safra	$ET_0$	$ET_c$	$K_c$
	mm.d <sup>-1</sup>		
<b>15/16</b>	3.39	2.79	0.82
<b>16/17</b>	3.75	3.29	0.88
<b>17/18</b>	3.55	3.19	0.90
<b>18/19</b>	3.98	3.36	0.85
<b>19/20</b>	3.85	3.32	0.86
<b>20/21</b>	4.30	3.68	0.86
<b>21/22</b>	4.00	3.68	0.92
<b>Média</b>	3.81	3.33	0.87

Na Tabela 6, pode-se notar tanto a  $ET_0$ , quanto a  $ET_c$  e  $K_c$  oscilaram entre as safras, mas tendendo a um suave crescimento, assim como o  $R_n$  (Tabela 4). Houve crescimento nos valores de  $ET_0$  e  $ET_c$  dentre as duas primeiras safras, juntamente com o aumento do  $K_c$ , contudo, na safra 17/18 houve redução de  $ET_0$  e  $ET_c$ , em função da diminuição de  $R_n$ , mas o  $K_c$  continuou subindo, já que a redução de  $ET_c$  não foi tão acentuada quanto a  $ET_0$ .

A redução da evapotranspiração de referência na safra 17/18 foi positiva ao cultivo, haja vista que durante essa safra o experimento ficou sem equipamento de irrigação, então uma alta demanda hídrica da atmosfera aumentaria o fechamento estomático. Além disso, durante a safra em questão a temperatura foi abaixo da média do experimento e a UR média e a precipitação acumulada foi acima da média do período experimental.

Garcia et al., (2022) em seu experimento também consideraram o crescimento do  $K_c$  entre as plantas de Conilon jovens com o passar das safras. Contudo os autores adotaram o  $K_c$  variando de 0,7 a 0,8, subestimando esse parâmetro em comparação ao obtido neste trabalho, que variou de 0,82, dos 13 aos 25 meses, a 0,92, dos 73 aos 85 meses.

A Tabela 7 apresenta a variação de  $ET_0$ ,  $ET_c$  e  $K_c$  conforme os estádios fenológicos do cafeeiro Conilon, para melhor compreensão da necessidade hídrica da cultura.

Tabela 7: Média evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e coeficiente da cultura ( $K_c$ ) em diferentes estádios vegetativos de Café Conilon em Campos dos Goytacazes

Estádios	$ET_0$	$ET_c$	$K_c$
	mm.d <sup>-1</sup>		
<b>Pré-floração</b>	2.52	2.20	0.87
<b>Floração</b>	3.08	2.62	0.85
<b>Chumbinho</b>	3.91	3.34	0.85
<b>Expansão de frutos</b>	4.49	4.05	0.90
<b>Granação</b>	5.06	4.46	0.88
<b>Maturação</b>	3.77	3.32	0.88
<b>Média</b>	3.81	3.33	0.87

Conforme a Tabela 7, pode-se notar que tanto o  $ET_0$ , quanto o  $ET_c$ , apresentam incrementos das fases de pré-floração à fase de granação, seguido de uma queda nos valores na fase de maturação. Esta observação se deve à variação de  $R_n$  entre as fases do cultivo, que é o principal impulsionador da evapotranspiração em condições de ausência de restrições (Petkovic et al., 2020; Wang et al., 2021).

O coeficiente da cultura, por sua vez, apresenta variação diferente dos parâmetros anteriores. O  $K_c$  tem média de 0,87 na pré-floração, que tem ligeiro decaimento para 0,85 na fase de floração, valor que é mantido no estágio de chumbinho, que é seguido de crescimento para 0,90 na expansão de frutos, com posterior queda para 0,88 na granação e maturação.

A disparidade entre as variações do  $K_c$  e o  $ET_c$  podem ser explicadas pelo metabolismo e controle estomático dos cafeeiros, além da disponibilidade de energia durante cada estágio. Na pré-floração ocorre nos meses de inverno, quando há baixa  $R_n$ , o que faz com que  $ET_c$  e  $ET_0$  não atinjam maiores valores, contudo, por se tratar de uma fase em que a planta está gerando os botões florais, o metabolismo vegetal está acelerado, o que o faz necessitar de mais aporte hídrico (Ferrão et al., 2017).

Ademais, na pré-floração, o vegetal não apresenta grande restrição estomática, quando irrigado, haja vista que o déficit de pressão de vapor no período (inverno) não tende a atingir valores que ocasionam restrição estomática na cultura (2 KPa) (Venancio et al., 2020).

Nos estádios de floração e chumbinho se observou os menores  $K_c$ , que podem estar associados a menores metabolismos nessas fases, enquanto o máximo  $K_c$  foi obtido na expansão dos frutos. Covre et al. (2022) observaram baixa acumulação de

biomassa nos frutos nos períodos iniciais e finais da formação dos frutos de Conilon, o que também explica o decréscimo de  $K_c$  durante o estágio de maturação.

Contudo, o decréscimo do  $K_c$  entre as fases de enchimento dos grãos e granação, estádios de grande acúmulo de matéria seca nos grãos, pode ser explicada pela restrição estomática frente aos altos valores de  $R_g$  e temperatura, durante granação, que ocorre no ápice do verão na região, sobretudo quando ocorrem veranicos, comuns na região em janeiro e fevereiro (Mendonça, 2014).

## 5.6 NECESSIDADE TÉRMICA

A soma térmica é uma maneira mais precisa para avaliar o desenvolvimento e maturação dos frutos de café Conilon quando comparada a medidas cronológicas (Souza et al., 2017). Devido a isso, procedeu-se o cálculo do acúmulo de graus-dias durante ciclo reprodutivo (do florescimento à maturação) de cada safra avaliada, além do cálculo da média de graus dias acumulados por dia, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Necessidade térmica e taxa de acúmulo térmico em diferentes safras de café Conilon

<b>Safra</b>	<b>Necessidade térmica (°C.dia)</b>	<b>Taxa de acúmulo (°C. dia.dia<sup>-1</sup>)</b>
<b>15/16</b>	3413.23	10.78
<b>16/17</b>	3104.56	9.82
<b>17/18</b>	3029.10	9.61
<b>18/19</b>	3239.10	10.34
<b>19/20</b>	2852.19	9.14
<b>20/21</b>	2981.07	9.52
<b>21/22</b>	3102.02	9.71
<b>Média</b>	3103.04	9.85
<b>CV%</b>	5.42	5.15

Conforme a Tabela 8, pode-se notar uma oscilação no número de graus-dias necessários para que o ciclo reprodutivo do Conilon se completasse. A safra com a maior necessidade térmica foi a 15/16, que acumulou 3413,23 °C.dias<sup>-1</sup>, enquanto a safra 19/20 apresentou menor soma térmica, necessitando 2852.19 °C.dias<sup>-1</sup> para completar o ciclo reprodutivo.

O acúmulo térmico médio no experimento foi de 3103,04 °C.dias<sup>-1</sup>, valor dentro do intervalo que Souza et al. (2017) classificaram como tardia. Por outro lado, Ferrão et al. (2008) denominam clones que atingem a maturação em maio como intermediários. Esse desacordo das classificações pode ser em razão das elevadas temperaturas médias diárias em Campos dos Goytacazes, que faz com que haja um maior acúmulo térmico em períodos menores. O baixo coeficiente de variação indica a baixa variabilidade no acúmulo entre as safras.

A taxa de acúmulo térmico variou de forma muito semelhante ao acumulado total, o que já era esperado pela baixa variabilidade no número de dias do período reprodutivo de cada ciclo. O máximo acúmulo foi de 10,78°C.dia.dia<sup>-1</sup>, na safra 15/16, e o mínimo foi de 9,14°C.dia.dia<sup>-1</sup>, na safra 19/20. O acúmulo médio do experimento foi de 9,85°C.dia.dia<sup>-1</sup>, valor inferior aos encontrados por Angelo et al. (2019) em plantas de *C. arabica*, o que pode ser explicado pela menor temperatura basal inferior dessa espécie (10,5°C) quando comparada à temperatura basal do Conilon (15,0°C). Novamente o CV apresentou um valor baixo.

É válido ressaltar que em anos que se notou maiores acúmulos de graus-dias também foram obtidas maiores produtividades, o que indica que as maiores temperaturas e, conseqüentemente, maiores acúmulos térmicos sejam benéficos para o cultivo do café Conilon. Contudo, temperaturas médias acima de 25°C tendem a causar diminuição na produção (Venancio et al., 2020). No presente estudo as médias não ultrapassaram esse limite o que explica a resposta positiva da produtividade à temperatura.

## 5.7 PRODUTIVIDADE

Os valores da produtividade obtidos em cada safra estão apresentados na Figura 13, apresentado a seguir.

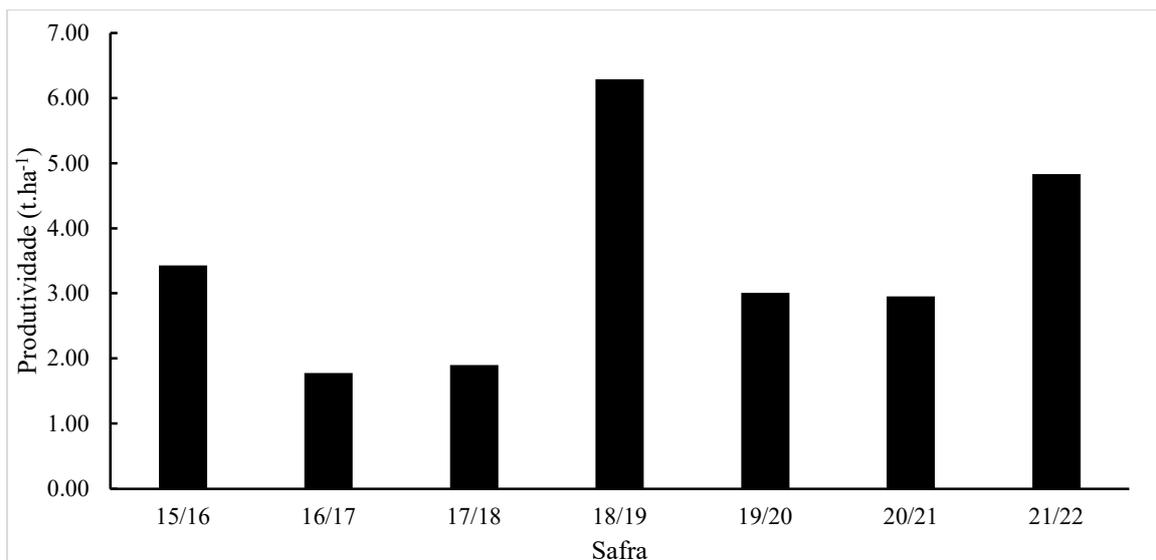


Figura 13: Produtividade do Café Conilon da safra 15/16 a 21/22.

Na Figura 13, pode-se observar que a produtividade apresentou oscilações entre as sucessivas safras. A safra 15/16 apresentou boa produtividade (3,41 t.ha<sup>-1</sup>), sobretudo haja vista a pouca idade das plantas neste período. Ferrão et al. (2017) observaram que a produtividade do estande tende a aumentar com a idade, dos 24 aos 60 meses.

A safra 16/17 apresentou queda comparada à anterior, com produtividade de 1,75 t.ha<sup>-1</sup> o que pode ser explicado pela pouca idade das plantas aliada ao período de 17 dias sem entrada de água no estande que ocorreu entre os meses de dezembro de 2016 e janeiro de 2017, quando as plantas passavam pelo fim do enchimento de grãos e o início do estágio de granação. Covre et al. (2022) afirmam que o déficit hídrico nesse período prejudica a qualidade dos grãos pelo menor acúmulo de fotoassimilados.

A safra 17/18 teve rendimento de 1,89 t.ha<sup>-1</sup> apresentou um pequeno aumento quando comparada à safra anterior, contudo, quando comparada com a safra 15/16, ainda apresenta valor inferior, o que se deve a 14 dias sem entrada de água no estande entre os meses de dezembro de 2017 e janeiro de 2016. Além disso, Lazzarini et al. (2022) indicam que o déficit hídrico sofrido na safra anterior também causou impacto negativo na produtividade de cafezal. Covre et al. (2022) afirmam que altas temperaturas e déficit hídrico no ciclo anterior ocasiona maior queda de frutos nos ramos plagiotrópicos.

A safra 18/19 apresentou a maior produtividade do experimento, apresentando 6,27 t.ha<sup>-1</sup> (104 sc.ha<sup>-1</sup>), rendimento potencial em lavouras mais

tecnificadas (INCAPER, 2020). A alta produtividade desta safra pode ser explicada pela ausência de déficit hídrico em período crítico e pelas produtividades limitadas das safras anteriores, o que fez com que as plantas não reduzissem de forma significativa seu crescimento vegetativo. Além disso, a idade do estande também cooperou, uma vez que Ferrão et al. (2017) também observaram que aos 60 meses o estande apresenta a mais alta produção.

O efeito da bienalidade do café foi claro na safra 19/20, que teve menos metade da produtividade do ano anterior ( $2,99 \text{ t.ha}^{-1}$ ), mesmo com condições ambientais benéficas para o cultivo e com estande já com bom desenvolvimento fisiológico. A bienalidade ocorre por influência hormonais e nutricionais em decorrência de altas produtividades, que restringem a diferenciação de gemas em botões florais, resultando em uma menor florada e, conseqüentemente, menor produtividade no ano seguinte (Mendonça et al., 2011; Melo et al., 2022).

A safra 20/21 apresentou produtividade ligeiramente inferior à obtida na safra anterior ( $2,93 \text{ t.ha}^{-1}$ ), o que pode ser explicado pela alta Rg observada no mês de janeiro de 2021, maior valor observado no experimento. O excesso de luz solar pode causar dano oxidativo das plantas, o que afeta negativamente o crescimento e a produção de biomassa, prejudicando a produtividade (Bote et al., 2018; Pompelli et al., 2010). Por fim, a safra 21/22 apresentou crescimento, quando comparada à anterior, e foi a segunda maior produtividade, apenas atrás da safra 18/19, com rendimento de  $4,81 \text{ t.ha}^{-1}$ .

De forma geral, o rendimento médio do experimento foi de  $3,43 \text{ t.ha}^{-1}$ , produtividade tida como boa, sendo maior que a média nacional, que foi de  $2,13 \text{ t.ha}^{-1}$  no mesmo período (IBGE, 2024a). Apenas na safra 17/18 a produtividade do estande experimental foi abaixo da média nacional, nas demais safras a produção média brasileira foi ultrapassada, o que indica boa condução do experimento, e também, que a região Norte Fluminense apresenta boa aptidão para o Conilon.

Para um melhor entendimento de como os componentes do balanço de energia influenciaram o Conilon, fez-se regressões entre a cada um dos componentes e o rendimento obtido, sendo os resultados estão apresentados na Figura 14.

Ao observar a Figura 14 pode-se notar que nenhum dos componentes do balanço de radiação possui efeito elevado, sendo que, o  $R_n$ ,  $G$ ,  $LE$  e  $H$  explicam, respectivamente, 13,46%, 8,25%, 8,52% e 22,71% da variação na produtividade entre as safras. Essa baixa influência se deve à quantidade de fatores que impactam a

produtividade do café, podendo ser fatores bióticos, como a idade da planta e utilização de reservas nas safras anteriores, e abióticos, como temperatura, fertilidade, disponibilidade hídrica e energia disponível (Covre et al., 2022).

A maior influência de H na produtividade pode ser explicada pelo efeito benéfico de um déficit hídrico curto na produtividade do Conilon, uma vez que o déficit hídrico controlado atua quebrando a dormência das gemas florais (Ronchi e Miranda, 2020). Valores mais elevados de H indicam que o ambiente passa por restrição hídrica, já que a energia disponível é preferencialmente utilizada para a evaporação da água (Veloso et al., 2020**Erro! Indicador não definido.**).

Atentando-se às linhas de tendência, é possível notar que o rendimento tende a crescer com aumento dos valores de  $R_n$ , G e H, até atingir valores máximos (4666,79 MJ.m<sup>-2</sup>, 329,51 MJ.m<sup>-2</sup> e 1157,00 MJ.m<sup>-2</sup>), e a partir de então passa a decrescer com o aumento desses componentes do balanço de energia. Por outro lado, de acordo com a linha de tendência, a produtividade apresenta maiores valores com baixos valores de LE, diminui até atingir o mínimo de 2713,33 MJ.m<sup>-2</sup>, e posteriormente passa a aumentar com aumento do LE. Contudo, esse resultado se deve pelo fato de o LE não variar suficientemente para observar o ponto a partir do qual o incremento de seus valores causaria a redução na produtividade.

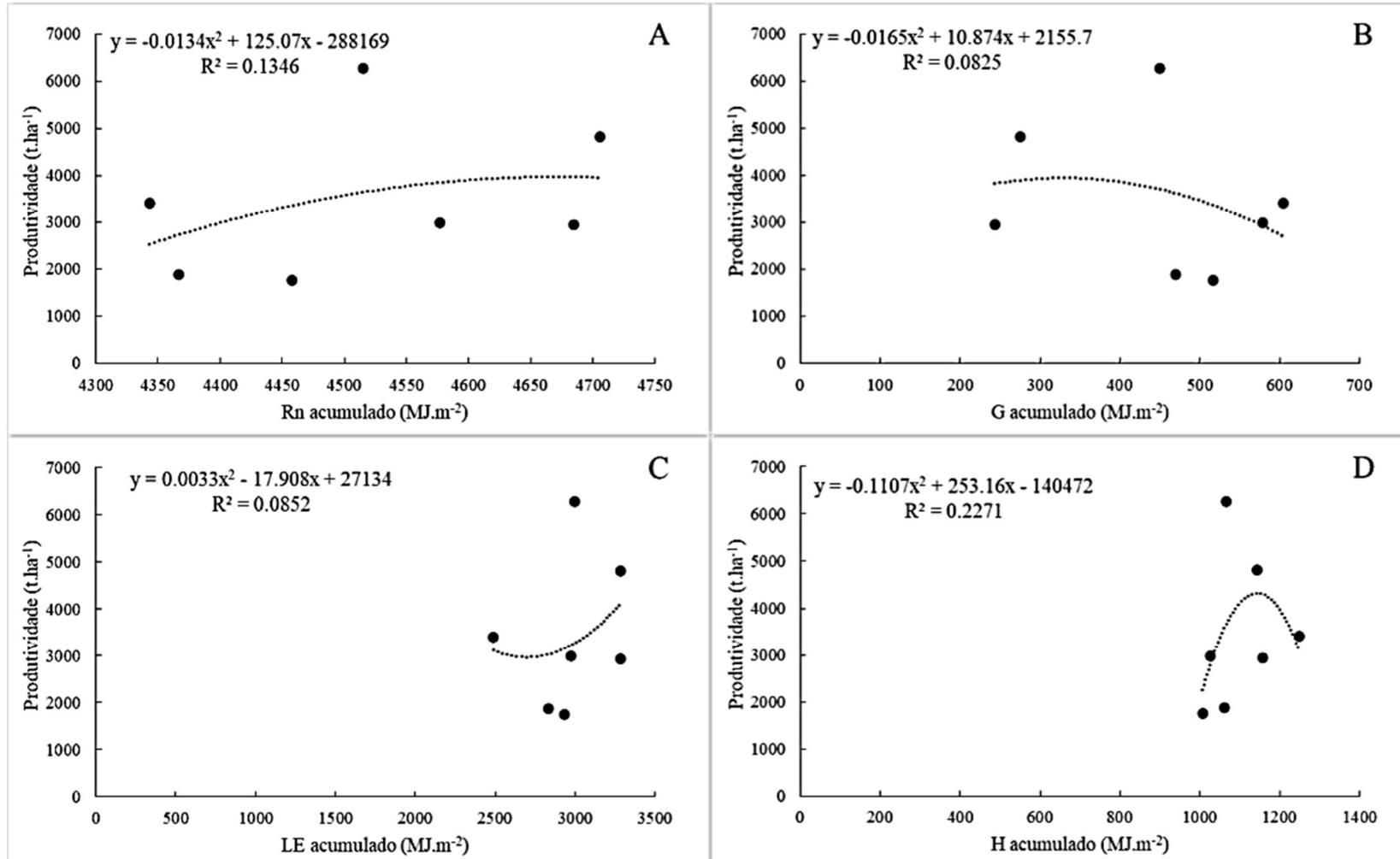


Figura 14: Produtividade do Café Conilon da safra 15/16 a 21/22 em função dos componentes do balanço de energia: **A**: saldo de radiação; **B**: fluxo de calor no solo; **C**: fluxo de calor latente; **D**: fluxo de calor sensível.

Na Tabela 9 são apresentadas as produtividades das diferentes safras, os acumulados de saldo de radiação e evapotranspiração da cultura, bem como a produtividade da água e energética na cultura.

Tabela 9: Produtividade (Prod), saldo de radiação acumulado (Rn), evapotranspiração da cultura (ETc), Produtividade de água na cultura (PAC) e produtividade energética da cultura (PEC) em diferentes safras de Café Conilon

<b>Safra</b>	<b>Prod</b> t/ha	<b>ETc</b> mm	<b>PAC</b> Kg.m <sup>-3</sup>	<b>Rn</b> MJ.m <sup>-2</sup>	<b>PEC</b> g.MJ <sup>-1</sup>
<b>15/16</b>	3.41	1021.06	0.33	4343.27	0.08
<b>16/17</b>	1.75	1200.27	0.15	4457.97	0.04
<b>17/18</b>	1.88	1162.15	0.16	4366.41	0.04
<b>18/19</b>	6.27	1227.82	0.51	4514.67	0.14
<b>19/20</b>	2.99	1214.49	0.25	4576.79	0.07
<b>20/21</b>	2.93	1343.33	0.22	4684.42	0.06
<b>21/22</b>	4.81	1342.04	0.36	4705.85	0.10
<b>Média</b>	3.43	1215.88	0.28	4521.34	0.08

Conforme a Tabela 9, pode-se notar novamente a variação ocorrida na produtividade entre as safras, com o maior rendimento sendo observado na safra 18/19 e o menor na safra 16/17.

A ETc acumulada, por sua vez, apresentou tendência de crescimento com o passar das safras, o que pode ser explicado pelo incremento na área foliar devido maior desenvolvimento e maturação das plantas. A safra 15/16 apresentou menor exigência hídrica (1021,06 mm), enquanto a safra 20/21 apresentou a maior demanda por água, 1343,33 mm, valor bem próximo aos 1342,04 mm evapotranspirados na safra 21/22. A média da evapotranspiração anual do experimento foi de 1215,88 mm.

Garcia et al (2022) obteve em seu estudo que a máxima produção do Conilon é atingida com uma lâmina de 2031,57 mm, valor muito superior ao encontrado nesse estudo, contudo os autores usaram outra metodologia, por meio de regressão da lâmina total (irrigação e chuva) e a produtividade, enquanto no presente trabalho determinou-se quanto a cultura evapotranspirou.

Quanto a eficiência do uso da água, pode-se notar que apesar da variação do volume evapotranspirado, a PAC é mais influenciada pela produtividade, apresentando comportamento semelhante a essa. Na safra 15/16, a cada m<sup>3</sup> de água evapotranspirado, foram produzidos 0,33 Kg de café beneficiado, eficiência que caiu

nas duas safras subsequentes (0,15 e 0,16 Kg.m<sup>-3</sup>), sendo essa as safras que mais necessitaram de água por quantidade de café produzido.

A safra de maior eficiência foi 18/19, que produziu 0,51 Kg.m<sup>-3</sup> evapotranspirado, seguida por uma queda nas eficiências nas duas safras seguinte, havendo novo aumento na produtividade na safra 21/22. A PAC média durante o experimento foi de 0,28 Kg.m<sup>-3</sup>.

Dardengo et al. (2018) em um estande irrigado de café Conilon no estado Espírito Santo observaram necessidade de 8,8 m<sup>3</sup> Kg<sup>-1</sup> de grão beneficiado, o que representa uma PAC de 0,11 Kg.m<sup>-3</sup>, valor inferior ao encontrado no presente estudo. Contudo, novamente há diferença nas metodologias aplicadas, já que os autores contabilizaram o total precipitado sobre as plantas (irrigação e chuva), enquanto no presente estudo levou-se em consideração a quantidade de água perdida pela planta.

O Rn acumulado também apresentou tendência de crescimento no decorrer do experimento, apresentou seu valor mínimo na safra 15/16 (4343,27 MJ.m<sup>-2</sup>), e seu valor máximo foi obtido na safra 21/22 (4705,85 MJ.m<sup>-2</sup>). O valor médio de Rn acumulado durante período do experimento foi 4521,34 MJ.m<sup>-2</sup>.

A produtividade energética da cultura também apresentou comportamento similar à produtividade, iniciando com valores mais altos (0,8 g.MJ<sup>-1</sup>), seguidos de queda nas duas safras seguintes (0,4 g.MJ<sup>-1</sup>), com o máximo na safra 18/19 (0,14 g.MJ<sup>-1</sup>), uma ligeira queda nas duas safras seguintes, seguidas de novo aumento. Esse resultado indica que a produtividade da água e energética da cultura, também dependem de muitos fatores, possivelmente os mesmo que interferem na produtividade da cultura.

## 6. CONCLUSÕES

Diante dos resultados, concluiu-se que o município de Campos dos Goytacazes é apto ao cultivo do café Conilon, desde que manejado corretamente. O BOL apresentou valores de grandezas muito menores que BOC, além de não variar com uma sazonalidade tão bem estabelecida quanto este. Além disso, observou-se influência dos fenômenos ENOS sobre as condições ambientais locais.

A aplicação método do balanço de radiação por razão de Bowen foi satisfatória e por meio dessa se observou que LE recebeu maior partição de  $R_n$  durante todo o experimento, seguido de H e G. Ademais, LE,  $ET_c$  e  $K_c$  tiveram tendência a crescimento entre as safras, enquanto H e G decresceram. Observou-se que da pré-floração à granação há incremento nos valores de  $R_n$ , LE, H, G,  $ET_c$  e  $ET_o$ , que apresentam queda na fase de maturação dos frutos. Por outro lado, o  $K_c$ , que teve média de 0,87, apresentou seus menores valores na floração e no estágio de chumbinho e o seu máximo foi observado durante a expansão dos frutos.

A soma térmica apresentou baixa variação entre as safras, apresentando tendência à queda. A produtividade da cultura, a PAC e PEC valores mais elevados a cada três safras, apresentando uma leve propensão de crescimento ao longo do tempo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acharya, B., e Sharma, V. (2021). Comparison of satellite driven surface energy balance models in estimating crop evapotranspiration in semi-arid to arid intermountain region. *Remote Sensing*, 13(9), 1822.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). 301p. FAO Irrigation and drainage paper nº. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 301p.

Alves, A. R., e Vianello, R. L. (2004). Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: Editora da UFV.

André, R. G. B., Mendonça, J. C., Marques, V. D. S., Pinheiro, F. M. A., e Marques, J. (2010a). Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 1: balanço de radiação e parâmetros derivados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25, 375-382.

André, R. G. B., Mendonça, J. C., Pinheiro, F. M. A., Marques, V. D. S., e Marques, J. (2010b). Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 2: Balanço de energia e parâmetros derivados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25, 535-542.

Angelocci, L. R., Marin, F. R., Pilau, F. G., Righi, E. Z., e Favarin, J. L. (2008). Radiation balance of coffee hedgerows. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12, 274-281.

Angelo, P. C. S., Ferreira, I. B., de Carvalho, C. H. S., Matiello, J. B., e Sera, G. H. (2019). Arabica coffee fruits phenology assessed through degree days, precipitation, and solar radiation exposure on a daily basis. *International Journal of Biometeorology*, 63, 831-843.

Aguilar, J. L. C., Gentle, A. R., Smith, G. B., e Chen, D. (2015). A method to measure total atmospheric long-wave down-welling radiation using a low cost infrared thermometer tilted to the vertical. *Energy*, 81, 233-244.

Araújo, A. V., Partelli, F. L., Oliosi, G., e Pezzopane, J. R. M. (2016). Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun. *Revista Ciência Agronômica*, 47, 700-709.

Arnold, C. Y. (1959). The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. In *Proceedings of the American Society for horticultural Science* (Vol. 74, Nº. 1, pp. 430-445).

Ataide, W. L. da S., de Oliveira, F. D. A., e Pinto, C. A. D. (2020). Balanço de radiação, energia e fechamento do balanço em uma floresta prístina na Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(06), 2603-2627.

Azeez, L. (2022). Demonstration of Net Solar Radiation Geographical Behavior Revers Correlation with Relative Humidity in Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 63(6), 2741–2754. <https://doi.org/10.24996/ijjs.2022.63.6.38>.

Azevedo, P. V. D., Saboya, L. M., Dantas Neto, J., Oliveira, F. D. S., Bezerra, J. R., e Farias, C. H. D. A. (2014). Disponibilidade energética para a cultura da cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 1031-1038.

Bakanoğullari, F., Şaylan, L., e Yeşilköy, S. (2022). Effects of phenological stages, growth and meteorological factor on the albedo of different crop cultivars. *Italian Journal of Agrometeorology*. <https://doi.org/10.36253/ijam-1445>.

Banerjee, S., e Dutta, P. (2016). Albedo Pattern Over Rice Field in Lower Gangetic Plains of West Bengal During Kharif and Boro Seasons. *Indian journal of applied research*, 5.

Bergamaschi, H., e Bergonci, J. I. (2017). As plantas e o clima: princípios e aplicações. Guaíba: Agrolivros.

Bilen, C., El Chami, D., Mereu, V., Trabucco, A., Marras, S., e Spano, D. (2023). A Systematic Review on the Impacts of Climate Change on Coffee. *Agrosystems. Plants*, 12(1), 102.

Blatchford, M. L., Karimi, P., Bastiaanssen, W. G. M., e Nouri, H. (2018). From global goals to local gains—A framework for crop water productivity. *ISPRS international journal of geo-information*, 7(11), 414.

Borges, P., Bernhofer, C., e Rodrigues, R. (2018). Extreme rainfall indices in Distrito Federal, Brazil: Trends and links with El Niño southern oscillation and Madden–Julian oscillation. *International Journal of Climatology*, 38, 4550 - 4567. <https://doi.org/10.1002/joc.5686>.

Bote, A., Ayalew, B., Ocho, F., Anten, N., e Vos, J. (2018). Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation levels and rates of nitrogen supply I. Vegetative growth, production and distribution of biomass and radiation use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 92, 115-122. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2017.10.007>.

Bowen, I. S. (1926). The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical review*, 27(6), 779.

Burton, C., Betts, R., Jones, C., Feldpausch, T., Cardoso, M., & Anderson, L. (2020). Mudanças impulsionadas pelo El Niño no incêndio global 2015/16., 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00199> .

Cai, W., Mcphaden, M., Grimm, A., Rodrigues, R., Taschetto, A., Garreaud, R., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y., Santoso, A., Ng, B., Anderson, W., Wang, G., Geng, T., Jo, H., Marengo, J., Alves, L., Osman, M., Li, S., Wu, L., Karamperidou, C., Takahashi, K. e Vera, C. (2020). Impactos climáticos do El Niño-Oscilação Sul na América do Sul. *Nature Reviews Terra e Meio Ambiente*, 1, 215 - 231. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3> .

Campuzano-Duque, L. F., e Blair, M. W. (2022). Strategies for Robusta Coffee (*Coffea canephora*) Improvement as a New Crop in Colombia. *Agriculture*, 12(10), 1576.

Canales-Ide, F.; Zubezu, S.; Rodríguez-Sinobas, L. (2019) Irrigation systems in smart cities coping with water scarcity: The case of Valdebebas, Madrid (Spain). *Journal of environmental management*, v. 247, p. 187-195.

Capucho, A. S., Zambolim, L., Cabral, P. G. C., Maciel-Zambolim, E., e Caixeta, E. T. (2013) Climate favorability to leaf rust in Conilon coffee. *Australasian Plant Pathology*, 42, 511-514.

Castaño-Marín, A. M., Riaño-Herrera, N. M., Góez-Vinasco, G. A., García-López, J. C., e Figueroa-Casas, A. (2022). Evapotranspiration and crop coefficients for coffee production systems in Colombia using the eddy covariance method. *Agronomy Journal*, 114(1), 678-688.

Cintra, P. H. N., de Melo, O. F. P., de Menezes, J. O. S., Padilha, R. C., Rezende, A. G., e dos Reis Matos, E. (2020). Análise de fluorescência da clorofila a em mudas de cafeeiro sob estresse hídrico. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 28006-28014.

Costa, J. D. O., Coelho, R. D., Barros, T. H. D. S., Fraga, E. F., e Fernandes, A. L. T. (2019). Leaf area index and radiation extinction coefficient of a coffee canopy under variable drip irrigation levels. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41.

Costa, J. D. O., Coelho, R. D., Wolff, W., José, J. V., Folegatti, M. V., e Ferraz, S. F. D. B. (2019). Spatial variability of coffee plant water consumption based on the SEBAL algorithm. *Scientia Agricola*, 76, 93-101.

Covre, A. M., Oliveira, M. G., Martins, L. D., Bonomo, R., Rodrigues, W. N., Tomaz, M. A., Vieira, H. D., Paye, H. S. e Partelli, F. L. (2022). How is the fruit development of *Coffea canephora* trees modulated by the water supply? An analysis of growth curves for irrigated and rainfed systems. *Semin. Ciênc. Agrár.* Londrina, 43, 2359-2374.

Cui, Y., Liu, J., Hu, Y., Wang, J., e Kuang, W. (2012). Modeling the radiation balance of different urban underlying surfaces. *Chinese Science Bulletin*, 57, 1046-1054.

Cunha, K.C.B.da, Da Rocha, R.V. (2016). Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, Tupã, 1 (2):62-74.

DaMatta, F. M.; Silveira, J. S. M.; Ducatti, C.; Loureiro, M. E. (2000) Eficiência do uso da água e tolerância à seca em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., Poços de Caldas, MG. Anais... Brasília: Embrapa Café, 2000, p. 907-910.

DaMatta, F. M. (2004a). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field crops research*, 86(2-3), 99-114.

DaMatta, F.M. (2004b). Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. *Brazilian Journal Plant Physiology* 16, 1-6.

DaMatta, F. M., e Ramalho, J. D. C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55-81. DOI: 10.1590/S1677-04202006000100006

DaMatta, F. M., Avila, R. T., Cardoso, A. A., Martins, S. C., e Ramalho, J. C. (2018). Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate

change and global warming: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(21), 5264-5274.

DaMatta, F. M., Rahn, E., Läderach, P., Ghini, R., e Ramalho, J. C. (2019). Why could the coffee crop endure climate change and global warming to a greater extent than previously estimated?. *Climatic Change*, 152, 167-178.

Dardengo, M., Pereira, L., Sousa, E., e Reis, E. (2018). Yield, quality and water consumption of Conilon Coffee under irrigated and dryland managements. *Coffee Science*. <https://doi.org/10.25186/CS.V13I3.1437>.

Dharshini, D., Ramanathan, S. P., Kokilavani, S., e Djanaguiraman, M. (2022). Energy balance partitioning and evapotranspiration in Sorghum based intercropping system in western region of Tamil Nadu. *MAUSAM*, 73(3), 667-672.

Davis, A. P., Gargiulo, R., Almeida, I. N. D. M., Caravela, M. I., Denison, C., e Moat, J. (2021). Hot coffee: The identity, climate profiles, agronomy, and beverage characteristics of *Coffea racemosa* and *C. zanguebariae*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 383.

Davis, A. P., Govaerts, R., Bridson, D. M., e Stoffelen, P. (2006). An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152(4), 465-512.

Delgado Rojas, J. S. (2003). Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo). 110 p.

Ding, R., Tong, L., Li, F., Zhang, Y., Hao, X., e Kang, S. (2015). Variations of crop coefficient and its influencing factors in an arid advective cropland of northwest China. *Hydrological Processes*, 29, 239 - 249. <https://doi.org/10.1002/hyp.10146>.

Duursma, R. A., Blackman, C. J., Lopéz, R., Martin-StPaul, N. K., Cochard, H., e Medlyn, B. E. (2019). On the minimum leaf conductance: its role in models of plant water use, and ecological and environmental controls. *New Phytologist*, 221(2), 693-705.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1999). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 412p.

Eugenio, F. C., Peluzio, T. D. O., Pereira, A. A. B., dos Santos, A. R., Peluzio, J. B. E., Bragança, R., ... e de Paula, E. D. S. (2014). Zoning agroclimatological *Coffea canephora* for Espírito Santo by spatial interpolation. *Coffee Science*, 9(3), 319-328.

FAOSTAT. (2023) Crops and livestock products. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em 15 janeiro de 2023.

Fernandes, G. S. T., Lopes, P. M. O., de Melo, C. G. B., Lima, R. L. F., dos Santos, A., e de Oliveira Silva, D. A. (2021). Balanço de radiação em áreas de expansão agrícola no Sudoeste do Piauí. *Revista de Geociências do Nordeste*, 7(1), 13-20.

Fernández, J. E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., e Cuevas, M. V. (2020). Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. *Agricultural water management*, 237, 106074.

Ferrão, R. G., Cruz, C. D., Ferreira, A., Cecon, P. R., Ferrão, M. A. G., Fonseca, A. F. A. D., ... e Silva, M. F. D. (2008). Genetic parameters in Conilon coffee. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43, 61-69.

Ferrão, R.G.; Fonseca, A.F.A.; Ferrão, M.A.G.; Verdin Filho, A.C.; Volpi, P.S.; Demuner, L.H.; Lani, J.A.; Prezotti, L.C.; Ventura, J.A.; Martins, D.S.; Mauri, A.L.; Marques, E.M.G.; Zucateli, F. (2012) Café Conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas. Incaper. 4ª ed.

Ferrão, R. G.; Fonseca, A.F.A.; Ferrão, M.A.G; Muner, L. H. (2017). *Café Conilon*. 2 ed. Vitória, ES : Incaper. 784 p.

Ferreira, T., Silva, B., Moura, M., Verhoef, A., e Nóbrega, R. (2020). The use of remote sensing for reliable estimation of net radiation and its components: a case study for contrasting land covers in an agricultural hotspot of the Brazilian semiarid region. *Agricultural and Forest Meteorology*. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108052>.

Flumignan, D., Faria, R., e Prete, C. (2011). Evapotranspiration components and dual crop coefficients of coffee trees during crop production. *Fuel and Energy Abstracts*. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2010.12.002>.

Garcia, A. D. B. (2021) Estimativa dos níveis ótimos econômicos de irrigação do café Conilon (*Coffea canephora*). (Master's dissertation, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro). 92 p.

Garcia, A. D. B., Mendonça, J. C., Almeida, C.M., Lazzarini, L. M., Ribeiro, C.C. (2022). Optimum economic irrigation levels of conilon coffee (*Coffea canephora*) in the North Fluminense Region, Brazil. *Journal of Agricultural Sciences Research*, V. 2, N. 2.

Gentil, M. S. (2010) Transpiração e eficiência do uso da água em árvores clonais de Eucalyptus aos 4 anos em áreas com e sem irrigação em Eunápolis, Bahia. (Master's dissertation, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”). 71 p.

Gutiérrez, M. V., e Meinzer, F. C. (1994). Energy balance and latent heat flux partitioning in coffee hedgerows at different stages of canopy development. *Agricultural and Forest Meteorology*, 68(3-4), 173-186.

Gutiérrez, M. V., e Meinzer, F. C. (1994). Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(3), 652-657.

Herrera, J. C., e Lambot, C. (2017). The coffee tree—Genetic diversity and origin. In *The craft and science of coffee* (pp. 1-16). Academic Press.

Holwerda, F., e Meesters, A. G. C. A. (2019). Soil evaporation in a shaded coffee plantation derived from eddy covariance measurements. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124, 1472–1490. [https://doi.org/ 10.1029/2018JG004911](https://doi.org/10.1029/2018JG004911).

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (2024a). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Janeiro de 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em 17 de janeiro de 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (2024b). Produção Agrícola Municipal. Setembro de 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em 10 de janeiro 2024.

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural. Cafeicultura – Café Conilon. Vitória, ES. 2020. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-conilon>. Acesso em: 15 de dezembro de 2023.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas – Período de 1991 – 2020. (2023). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em 17 de janeiro de 2023.

Iyyanar, M., Usha, M., Birundha, C., Anbuselvi, M., e Haritha, V. (2020). A Machine Learning Model for Forecasting Wind Disasters for Farmers., 201-209. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5619-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5619-7_12).

Kath, J., Byrareddy, V. M., Craparo, A., Nguyen-Huy, T., Mushtaq, S., Cao, L., e Bossolasco, L. (2020). Not so robust: Robusta coffee production is highly sensitive to temperature. *Global change biology*, 26(6), 3677-3688.

Khairlani, N. H. M., Abdullah, M. Y., e Abdullah, S. (2020). *Thaumatococcus daniellii* phenology and growing degree day requirements under different irradiance and fertilizer levels. *Annals of Applied Biology*, 176(3), 328-341.

Khamees, A., Nassir, S., e Heni, K. (2018). Analytical Study of climate changes effect on wind speed in Al- Nasiriya, Iraq. *Iraqi journal of science*, 59, 980-985. <https://doi.org/10.24996/ijcs.2018.59.2b.20>.

Kijne, J. W., Barker, R., Molden, D. J. (Eds.). (2003). Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement (Vol. 1). Cabi.

Koech, R., Langat, P. (2018). Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. *Water*, 10(12), 1771.

Krieger, J. M., Vieira, I. S., da Silva, W. D. O. A., Souza, J. L., Lyra, G. B., e Lyra, G. B. (2020). Balanço de radiação utilizando métodos de estimativa da radiação solar em cultivo de cana-de-açúcar. *Agrometeoros*, 27(1).

Lal, D., e Singh, S. (2023). Impact of El-Nino and La-Nina Episodes on Rainfall Variability and Crop Yield. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 2046-2051.

Lazzarini, L. M., Mendonça, J. C., Garcia, R. F., Almeida, C. M. e Ribeiro, C. C. (2022). Avaliação de clones da cultivar de Café Conilon Vitória no Norte Fluminense, RJ. In: Silva-Matos, R. R. S., Souza, L. A. M. e Moraes, L. F. Ciências agrárias: estudos sistemáticos e pesquisas avançadas. Ponta Grossa - PR: Atena, p 130 – 144.

Li, T., Xia, J., Zhang, L., She, D., Wang, G., e Cheng, L. (2020). An improved complementary relationship for estimating evapotranspiration attributed to climate change and revegetation in the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 125516. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125516>.

Liu, J., Desjardins, R. L., Wang, S., Worth, D. E., Qian, B., e Shang, J. (2022). Climate impact from agricultural management practices in the Canadian Prairies: Carbon equivalence due to albedo change. *Journal of Environmental Management*, 302, 113938.

Machado, N. G., Biudes, M. S., Angelini, L. P., Mützenberg, D. M. D. S., Nassarden, D. C. S., Bilio, R. D. S., ... e Nogueira, J. D. S. (2016). Sazonalidade do balanço de energia e evapotranspiração em área arbustiva alagável no Pantanal Mato-Grossense. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31, 82-91.

Magiero, M., Bonomo, R., Partelli, F. L., e de Souza, J. M. (2017). Crescimento vegetativo do cafeeiro Conilon fertirrigado com diferentes parcelamentos e doses de nitrogênio e potássio. *Revista Agro@mbiente On-line*, 11(1), 31-39.

Mares, C., Mares, I., Dobrica, V., e Demetrescu, C. (2021). Quantification of the Direct Solar Impact on Some Components of the Hydro-Climatic System. *Entropy*, 23. <https://doi.org/10.3390/e23060691>.

Marin, F. R., Angelocci, L. R., Righi, E. Z., e Sentelhas, P. C. (2005). Evapotranspiration and irrigation requirements of a coffee plantation in Southern Brazil. *Experimental Agriculture*, 41(2), 187-197.

Melo, A. M. M., Bonini, L. M. D. M., e Mucoucah, M. F. S. (2022). Características da variação bienal na produção de café arábica no Brasil. *South American Development Society Journal*, 8(24), 93.

Mendonça J.C. (2014) Inundações na Baixada Campista. In: Totti, M.E., Soffiati, A. (eds). Gestão de águas no baixo Paraíba do Sul: região hidrográfica IX do Estado do Rio de Janeiro. Essentia Editora, Campos dos Goytacazes, Capítulo 5, p.91-127.

Mendonça, J. C. (2023) Índices hídricos, de aridez e de umidade na região norte do estado do Rio de Janeiro. In: Guedes, D. M.; da Silva, L. F. e de Oliveira, V. C. Avances científicos y tecnológicos en ciencias agrícolas 3. 1ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 3, p. 8-20.

Mendonça, J. C., Garcia, A. D. B., e de Almeida, C. M. (2021). Efeito de diferentes lâminas de irrigação na uniformidade de grãos moca do café Conilon, em Campos dos Goytacazes, RJ. *IRRIGA*, 26(2), 411-421.

Mendonça, R., Rodrigues, W., Martins, L., e Tomaz, M. A. (2011). Abordagem sobre a bienalidade de produção em plantas de café. *Enciclopédia Biosfera*, 7(13).

Morenko, K., e Morenko, S. (2021). Influence of Environmental Parameters on the Output Power of the Wind Power Plant of a Renewable Energy Complex., 1, 55-58. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2021-68-1-55-58>.

Neto, J. S., Almeida, C., Oliveira, I., e Silva, C. (2016). Comportamento Adaptativo Do *Coffea canephora* L. Na Zona Da Mata Pernambucana. *Holos*, 8, 125-134.

Niaghi, A. R., Jia, X., Steele, D. D., e Scherer, T. F. (2019). Drainage water management effects on energy flux partitioning, evapotranspiration, and crop coefficients of corn. *Agricultural Water Management*, 225, 105760.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (2024). Cold & Warm Episodes by Season. Climate Prediction Center. Disponível em: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Acesso em: 15 março de 2024.

Nyeki, S., Wacker, S., Aebi, C., Gröbner, J., Martucci, G., e Vuilleumier, L. (2019). Trends in surface radiation and cloud radiative effect at four Swiss sites for the 1996–2015 period. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(20), 13227-13241.

Ometto, J. C. (1981) Bioclimatologia vegetal. São Paulo: *Agronômica Ceres*, 1981. 436 p.

Oses, N., Azpiroz, I., Quartulli, M., Olaizola, I., Marchi, S., e Guidotti, D. (2020). Machine Learning for olive phenology prediction and base temperature optimization. In 2020 *Global Internet of Things Summit (GloTS)* (pp. 1-6). IEEE.

Paes, H. M. F., Esteves, B. D. S., e Sousa, E. F. D. (2012). Determinação da demanda hídrica do quiabeiro em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Ciência Agronômica*, 43, 256-261.

Paes, J. L., Vargas, B. C., Cunha, J. P. B., Silva, D. S. C., Ferraz, G. A. S., Braz, M. R. S., Ferraz, P.F.P., Conti, L. e Rossi, G. (2020). Thermal performance of a solar hybrid dryer for Conilon coffee (*Coffea canephora*). *Agronomy Research*, v.18, p.2166-2184.

Partelli, F. L., Marré, W. B., Falqueto, A. R., Vieira, H. D., e Cavatti, P. C. (2013). Seasonal vegetative growth in genotypes of *Coffea canephora*, as related to climatic factors. *Journal of Agricultural Science*, 5(8), 108.

PEREIRA, A., ANGELOCCI, L., & SENTELHAS, P. (2007). *Meteorologia Agrícola*. Piracicaba/SP. Edição Revista e Ampliada, ESALQ/USP, 202 p.

Pereira AR, Azevedo PV, Lourenço ERC, Saboya LMF, Bezerra JRC (2017) Evapotranspiração da cultura do gergelim irrigado na região da chapada do Apodí-RN. *Irriga* 22:497–511. <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p497-511>.

Pereira, O. A., de Moraes Danelichen, V. H., Ferreira, N. F. C., dos Santos, E. N., Novais, J. W. Z., Camargo, H. H. C., e Da Silva Filho, B. F. (2021). Tópicos do Método da Razão de Bowen. *UNICIÊNCIAS*, 25(1), 64-69.

Perez, P. J., Castellvi, F., Ibanez, M., e Rosell, J. I. (1999). Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 97(3), 141-150.

Petkovic, B., Petković, D., Kuzman, B., Milovancevic, M., Wakil, K., Ho, L., e Jermsittiparsert, K. (2020). Neuro-fuzzy estimation of reference crop evapotranspiration by neuro fuzzy logic based on weather conditions. *Comput. Electron. Agric.*, 173, 105358. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105358>.

Petrucci, E., e Oliveira, L. A. (2019). Relações entre intensidade, duração e frequência das precipitações máximas de 24 horas e equação de chuvas intensas para a cidade de Uberlândia-MG. *Revista Brasileira de Climatologia*, 25.

Pezzopane, J. R. M., Pedro Júnior, M. J., e Gallo, P. B. (2005). Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana'Prata Anã. *Bragantia*, 64, 485-497.

Pezzopane, J. R. M., Marsetti, M. M. S., Souza, J. M. D., e Pezzopane, J. E. M. (2010). Condições microclimáticas em cultivo de café Conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. *Ciência Rural*, 40, 1257-1263.

Pinheiro, A.A., Ribeiro, W.R., Gonçalves, M.S., Ferreira, D.S., dos Reis, E.F. (2017). Comparação de métodos de estimativa de evapotranspiração na cultura do cafeeiro conilon. Anais do Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem – CONIRD/INOVAGRI, 26, Ceará: ABID, 1, p. 1-6.

Pinheiro, H. A., DaMatta, F. M., Chaves, A. R., Loureiro, M. E., e Ducatti, C. (2005). Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. *Annals of botany*, 96(1), 101-108.

Pinto, J. V. D. N., Costa, D. L. P., Nunes, H. G. G. C., Silva Junior, A. C. D., Sousa, A. M. L. D., Souza, P. J. D. O. P. D., e Ortega-Farias, S. (2022). Radiation Balance and Partitioning of Latent and Sensible Heat Fluxes over a Lime Orchard in Eastern Amazon. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37, 491-502.

Pompelli, M., Martins, S., Antunes, W., Chaves, A., e Damatta, F. (2010). Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions.. *Journal of plant physiology*, 167 13, 1052-60 . <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.03.001>.

Posse, R. P., Valani, F., Souza, C. A. S., Posse, S. C. P., Sales, R. A., Oliveira, E. C., Quartezeni, W. Z., e Leite, M. C. T. (2018). Basal temperature and thermal constant for the production of cacao tree seedlings. *Journal of Experimental Agriculture International*, 25(3), 1-16.

Prezotti, L.C. (2014) Sistema de recomendação de calagem e adubação. Disponível em: Acesso em 25/01/2016.

Querino, C. A. S., Biudes, M. S., Machado, N. G., Querino, J. K. A. da S., Moura, M. A. L., e Alves, P. V. (2020). Modelling parametrization to estimate atmospheric long wave radiation in the Northern Mato Grosso, Brazil. *Ciência E Natura*, 42, e105. <https://doi.org/10.5902/2179460X41205>.

Querino, C. A. S., Júnior, J. M. L., e Moura, M. A. L. (2022). Balanço de Radiação no Bioma Caatinga no Semiárido Alagoano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(06), 2715-2729.

Querino, C. A. S., Moura, M. A. L., Lyra, R. D. F., e Mariano, G. L. (2006). Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região Amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3a), 42-49.

Querino, C. A. S., Muirdes, M. S., Machado, N. G., da Silva Querino, J. K. A., Neto, L. A. S., Silva, M. J. G., ... e Nogueira, J. (2017). Balanço de ondas curtas sobre floresta sazonalmente alagável do Pantanal Mato-Grossense. *Revista Brasileira de Climatologia*, 20.

Reboita, M. S., OLIVEIRA, K. R., Corrêa, P. Y. C., & Rodrigues, R. (2021). Influência dos diferentes tipos do fenômeno El Niño na precipitação da América do Sul. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(2), 729-742.

Ren, X., Zhang, Q., Yue, P., Yang, J., e Wang, S. (2022). Environmental and biophysical effects of the Bowen ratio over typical farmland ecosystems in the loess plateau. *Remote Sensing*, 14(8), 1897.

Righi, E. Z., Angelocci, L. R., e Marin, F. R. (2007). Energy balance of a young drip-irrigated coffee crop in southeast Brazil: an analysis of errors and reliability of measurements by the Bowen ratio method. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 15(3), 267-279.

Rodrigues, W.P., Freitas, S.D.J., Vieira, H.D., Cavalcanti Filho, P.F.M., Almeida, M.L.L. (2012). Produtividade de *Coffea canephora* na região noroeste Fluminense do

estado do Rio de Janeiro. Anais do 38º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras – CBPC, 38, Caxambu: SBPC, 1, p.1-2.

Ronchi, C. P., e Miranda, F. R. (2020). Flowering percentage in arabica coffee crops depends on the water deficit level applied during the pre-flowering stage. *Revista Caatinga*, 33, 195-204.

Rosenberg, N.J., Blad, B.L., Verma, S.B. (1983) Microclimate: The Biological Environment. Wiley, New York, 495 p.

Ruml, M., Vuković, A., e Milatović, D. (2010). Evaluation of different methods for determining growing degree-day thresholds in apricot cultivars. *International journal of biometeorology*, 54, 411-422.

Sales, R. A. D., Oliveira, E. C. D., Xavier, A. C., Oliveira, F. L. D., Pezzopane, J. E. M., Silva, D. M. N. D., e Berilli, S. D. S. (2022). Base temperature, cycle duration, and thermal constant for yacon culture. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 44.

Sánchez-Mora, F. D., Saifert, L., Ciotta, M. N., Ribeiro, H. N., Malinovski, L. I., Santos, K. L. D., Ducroquet, J. P. H., e Nodari, R. O. (2020) Phenological behavior of feijoa accessions in their main diversity center. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55.

Schöffel, E. R., dos Santos, P. M., da Rosa Maciel, L., e Herter, F. G (2021). Fluxos de energia radiante em cultivos de amora-preta ‘Tupy’. *Revista caminhos de geografia*. V 22, N8. 169-181.

Schwan, M. G., Andreão, G. B., Freitas, M. E. C., de Oliveira, P. H. S., e dos Reis, E. F. (2022). Effect of different methods for estimation of evapotranspiration and water deficit in soil on the growth rates of conilon clonal coffee. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 16.

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., e Galvíncio, J. D. (2019). 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*, 34, 69-78.

Silva, K. A., Rolim, G. S., Valeriano, T. T. B., e Moraes, J. R. S. C. (2020). Influence of El Niño and La Niña on coffee yield in the main coffee-producing regions of Brazil. *Theoretical and applied climatology*, 139, 1019-1029.

Silva, T. J., Folegatti, M. V., Silva, C. R., Alves Júnior, J., e Bonfim-Silva, E. M. (2007). Balanço de energia e estimativa da evapotranspiração em culturas irrigadas de maracujazeiro pelo método da razão de Bowen. *Engenharia Agrícola*, 27, 392-403.

Soares, J. M.; Azevedo, P. V. de; Silva, B. B. (2007) Erros associados pela razão de Bowen ao balanço de energia em parreirais sob irrigação por gotejamento. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 22, p. 233-240.

Souza, D. D. P., Fernandes, T. F. S., Tavares, L. B., Farias, V. D. D. S., de Lima, M. J. A., Nunes, H. G. G. C., Costa, D. L. P., Ortega-Farias, S. e Souza, P. J. D. O. P. (2021). Estimation of evapotranspiration and single and dual crop coefficients of acai palm in the Eastern Amazon (Brazil) using the Bowen ratio system. *Irrigation Science*, 39, 5-22.

Souza, C. A. D., Rocha, R. B., Alves, E. A., Espindula, M. C., Ramalho, A. R., Teixeira, A. L., e Ferrão, M. A. G. (2017). Componentes genéticos do desenvolvimento e maturação de frutos de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. *Coffee Science*, 12 (3), 355 – 364.

Suresh, K., Behera, S. K., Manorama, K., e Mathur, R. K. (2021) Phenological stages and degree days of oil palm crosses grown under irrigation in tropical conditions. *Annals of applied biology*, 178(1), 121-128.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. (2017). Fisiologia e Desenvolvimento vegetais.

Tchebakova, N. M., Zyryanov, V. I., Zyryanova, O. A., Parfenova, E. I., Kajimoto, T., e Matsuura, Y. (2023). A Comparative Study of Climatology, Energy and Mass Exchange in Two Forests on Contrasting Habitats in Central Siberia: Permafrost *Larix gmelinii* vs. Permafrost-Free *Pinus sylvestris*. *Forests*, 14(2), 346.

Teixeira, A. H. D. C. (2001). Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5, 28-32.

Valancogne, C., e Nasr, Z. (1989). Measuring sap flow in the stem of small trees by a heat balance method. *HortScience*, 24(2), 383-385.

Veloso, G. A., da Silva, L. A. P., e Ferreira, M. E. (2020). Análise do balanço de radiação e energia em áreas de veredas no norte de Minas Gerais, bioma Cerrado. *Cerrados*, 18(1), 220-247.

Venancio, L. P., do Amaral, J. F. T., Cavatte, P. C., Vargas, C. T., dos Reis, E. F., e Dias, J. R. (2019). Vegetative growth and yield of robusta coffee genotypes cultivated under different shading levels. *Bioscience Journal*, 35(5), 1490-1503.

Venancio, L. P., Filgueiras, R., Mantovani, E. C., do Amaral, C. H., da Cunha, F. F., dos Santos Silva, F. C., Althoff, D., dos Santos, R. A. e Cavatte, P. C. (2020). Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. *Scientific Reports*, 10(1), 19719.

Vezy, R., Christina, M., Roupsard, O., Nouvellon, Y., Duursma, R., Medlyn, B., ...e Le Maire, G. (2018). Measuring and modelling energy partitioning in canopies of varying complexity using MAESPA model. *Agricultural and forest meteorology*, 253, 203-217.

Walls, S., Binns, A. D., Levison, J., e MacRitchie, S. (2020). Prediction of actual evapotranspiration by artificial neural network models using data from a Bowen ratio energy balance station. *Neural Computing and Applications*, 32, 14001-14018.

Wang, P., Ma, J., Ma, J., Sun, H., e Chen, Q. (2021). A Novel Approach for the Simulation of Reference Evapotranspiration and Its Partitioning. *Agriculture*, 11, 385. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE11050385>.

Wu, B., Oncley, S., Yuan, H., e Chen, F. (2020). Ground heat flux determination based on near-surface soil hydro-thermodynamics. *Journal of Hydrology*, 591, 125578. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125578>.

Xiong, Y., Chen, X., Tang, L., e Wang, H. (2022). Comparison of surface renewal and Bowen ratio derived evapotranspiration measurements in an arid vineyard. *Journal of Hydrology*, 613, 128474.

Yuan, S., Wang, Y., Zhang, H., Zhao, J., Guo, X., Xiong, T., Li, H., e Zhao, H. (2022). Blue-Sky Albedo Reduction and Associated Influencing Factors of Stable Land Cover Types in the Middle-High Latitudes of the Northern Hemisphere during 1982-2015. *Remote. Sens.*, 14, 895. <https://doi.org/10.3390/rs14040895>.

Zheng, S., Ni, K., Ji, L., Zhao, C., Chai, H., Yi, X., He, W., e Ruan, J. (2021). Estimation of Evapotranspiration and Crop Coefficient of Rain-Fed Tea Plants under a Subtropical Climate. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112332>.