

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO**

**PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E USO DA
RENOVAÇÃO DO AR NA SUPERFÍCIE NA DETERMINAÇÃO DA
DEMANDA HÍDRICA DO MARACUJAZEIRO AMARELO NO
SUDOESTE DA BAHIA**

IUMI DA SILVA TOYOSUMI

CRUZ DAS ALMAS – BA

2023

**PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E USO DA
RENOVAÇÃO DO AR NA SUPERFÍCIE NA DETERMINAÇÃO DA
DEMANDA HÍDRICA DO MARACUJAZEIRO AMARELO NO
SUDOESTE DA BAHIA**

IUMI DA SILVA TOYOSUMI

Mestra em Engenharia Agrícola - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia,
2019

Engenheira Agrônoma - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2017

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutora em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Antônio Coelho Filho

CRUZ DAS ALMAS – BA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

T756p	<p>Toyosumi, lumi da Silva. Produtividade da água de irrigação e uso da renovação do ar na superfície na determinação da demanda hídrica do maracujazeiro amarelo no Sudoeste da Bahia /lumi da Silva Toyosumi._ Cruz das Almas, BA, 2023. 111f.; il.</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Doutorado em Engenharia Agrícola.</p> <p>Orientador: Dr. Maurício Antônio Coelho Filho.</p> <p>1.Maracujá – Produção agrícola. 2.Maracujá – Irrigação – Manejo. 3.Evapotranspiração – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD: 634.1</p>
-------	--

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO

PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E USO DA
RENOVAÇÃO DO AR NA SUPERFÍCIE NA DETERMINAÇÃO DA
DEMANDA HÍDRICA DO MARACUJAZEIRO AMARELO NO
SUDOESTE DA BAHIA

Comissão Examinadora da Defesa de Tese de
Tumi da Silva Toyosumi

Aprovada em: 06 de setembro de 2023

Prof. Dr. Maurício Antônio Coelho Filho
Embrapa Mandioca e Fruticultura

Documento assinado digitalmente
gov.br AUREO SILVA DE OLIVEIRA
Data: 10/11/2023 09:54:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Aureo Silva de Oliveira
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

NEILON DUARTE DA
SILVA:04937432516

Digitally signed by NEILON DUARTE DA SILVA:04937432516
DN: cn=AUREO SILVA DE OLIVEIRA, ou=Recôncavo da Bahia, ou=UFRRB, ou=UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA, ou=NEILON DUARTE DA SILVA:04937432516
Reason: Participação em banca de doutorado
Location:
Date: 2023.11.21.20:20:46-0300
Full PDF Reader Version: 2023.2.0

Prof. Dr. Neilon Duarte da Silva
Instituto Federal do Pará

Dr. Raul Castro Carriello Rosa
Embrapa Mandioca e Fruticultura

Prof. Dr. Fábio Ricardo Marin
Universidade de São Paulo

DEDICATÓRIA

À minha mãe Arlete, vó Bertolina e demais familiares, por todo exemplo de vida, amor e incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por sempre guiar meus passos, assim como por colocar pessoas iluminadas em meu caminho durante esta jornada longe de casa.

À minha família, agradeço pelo amor incondicional que me foi dado em todos os momentos.

Aos amigos, àquelas amizades de longa data e também àquelas que, na passagem pela UFRB e Embrapa, criamos laços que permaneceram mesmo com a distância.

Ao meu orientador, Mauricio Coelho, sou grata por todo apoio, ensinamentos e incentivo.

Ao Tibério, agradeço por todas as contribuições ao longo dessa trajetória.

Aos irmãos Paulo e Jaci Fagundes, agradeço pela parceria e pelo imenso apoio na pesquisa.

Aos professores Áureo e Neilon, sou grato por serem grandes mestres e por me proporcionarem inúmeros ensinamentos.

Ao Lucas Vellame, agradeço por toda a sua humanidade e apoio.

À Equipe de Maracujá da Embrapa Mandioca e Fruticultura, especialmente à Sidnara, Idália e Onildo, agradeço por todo acolhimento, parceria, ajuda, incentivo, risos e lágrimas. Sou grato por me tornarem a pessoa mais incluída que poderia existir.

Aos colegas do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, em especial ao Igor e Luma, que se tornaram minha família longe de casa durante a pandemia. Também agradeço aos que, na reta final, não me deixaram surtar além do que poderia.

Às irmãs "Dasbel", que tornaram minha permanência em Cruz das Almas mais leve.

Ao "Veinho", que nunca mediu esforços para ajudar.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pela oportunidade de fazer parte do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola.

À CAPES pelo apoio financeiro.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura pelo apoio na execução dos experimentos.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que este momento fosse alcançado... o meu MUITO OBRIGADO!

“Educação não transforma o mundo.

Educação muda as pessoas.

Pessoas mudam o mundo.”

(Paulo Freire)

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUÇÃO.....	13
REVISÃO DE LITERATURA.....	15
CAPÍTULO I	
PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DA PROPAGAÇÃO, COBERTURA DO SOLO E USO DE PROTETOR CONTRA RADIAÇÃO SOLAR NA PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DO MARACUJAZEIRO AMARELO CULTIVADO NO SUDOESTE DA BAHIA.....	34
CAPÍTULO II	
ESCOLHA DO ALFA NA DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE CALOR SENSÍVEL UTILIZANDO RENOVAÇÃO DO AR NA SUPERFÍCIE E DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DO MARACUJAZEIRO UTILIZANDO BALANÇO DE ENERGIA.....	80

RESUMO

O crescimento populacional mundial está exigindo uma maior produção de alimentos e, conseqüentemente, mais água. No entanto, fatores ambientais como radiação solar, temperatura, umidade do ar e precipitação podem prejudicar a produção do maracujazeiro. Em regiões com baixa precipitação, a irrigação é necessária, mas é importante garantir o uso sustentável da água. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar diferentes estratégias para otimizar a produtividade da água de irrigação e receita bruta, além de testar o método de renovação do ar na superfície na determinação da demanda hídrica do maracujazeiro. No Capítulo I, foram conduzidos quatro experimentos sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, propagação, cobertura do solo e uso de protetor solar. Os tratamentos se basearam na relação entre a lâmina de irrigação (calculada meramente pela relação entre o volume de água aplicado e área ocupada pela planta) e a evapotranspiração de referência (ET_o) – LAM/ET_o. O Experimento 1 utilizou um delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro tratamentos que combinaram diferentes lâminas de irrigação e o uso de cobertura do solo: 0,31ET_o e 0,21ET_o sem cobertura do solo, 0,28ET_o e 0,19ET_o com cobertura do solo. O Experimento 2 analisou lâminas de 266, 226, 180 e 144 mm em um esquema fatorial 2x4. O Experimento 3 envolveu o uso de protetor solar (com e sem) combinado com lâminas de 266 e 180 mm em 2022 e 470 e 269 mm em 2021, seguindo um esquema fatorial. Por fim, o Experimento 4 usou um esquema fatorial 4 x 2, com o primeiro fator relacionado aos tipos de mudas (semente, enxertia, estaquia e semente produzida pelos produtores - controle) e o segundo fator relacionado às lâminas de 266 e 180 mm. Diversas práticas, como a quantidade de água, uso de protetor solar, cobertura do solo e métodos de propagação, não afetaram a produção de maracujazeiro (média de 14,81 kg por planta). Em 2021, a redução na oferta de água não impactou a produção, permitindo menor uso de água em 2022. A redução de 62% na água resultou em aumento de 170% na produtividade da água (7,03 a 18,99 kg/m³). Menos água permitiu expandir a área irrigada e a receita bruta, até 152%. Comparado com 2022, o aumento foi de 53%. No Capítulo II, o sistema de renovação do ar na superfície foi calibrado utilizando *Eddy covariance* como referência. Determinou-se os valores do coeficiente alfa em diferentes condições atmosféricas, médias (todos os dados) e mensais para a determinação do fluxo de calor sensível (H). Utilizando a equação do balanço de energia, determinou-se a evapotranspiração da cultura (ET_c). O RMSE utilizando alfa para atmosfera estável

(0,5993) no processo de calibração é de $8,12 \text{ W m}^{-2}$, enquanto para atmosfera instável (0,9698) de $27,13 \text{ W m}^{-2}$. O RMSE obtido comparando-se todo o conjunto de dados entre $H_{\text{(Eddy covariance)}}$ e $H_{\text{(Renovação do ar na superfície)}}$ não calibrado, é de $29,94 \text{ W m}^{-2}$. Após o processo de calibração, utilizando-se alfa de 0,9461, o RMSE sofre pouca alteração ($29,55 \text{ W m}^{-2}$). As medidas de alfa mensais mostram que há redução do seu valor com o incremento da área foliar. A ET_c aumenta com o incremento da área foliar e depois decresce, apresentando valor inicial de 2,4 mm, máximo de 3,9 mm e final de 3,2 mm. Os valores de K_c obtido nas condições experimentais variaram entre 0,6 e 0,9.

Palavras-chave: *Passiflora edulis*, qualidade de frutos, *Eddy covariance*.

ABSTRACT

The world's growing population is demanding increased food production, leading to a higher demand for water. However, environmental factors such as solar radiation, temperature, air humidity, and precipitation can affect passion fruit production. In regions with low precipitation, irrigation is necessary, but it is important to ensure the sustainable use of water. In this context, this study aimed to evaluate different strategies to optimize irrigation water productivity and gross revenue while testing the surface air renewal method in determining the water demand of the passion fruit plant. In Chapter I, four experiments were conducted under different irrigation management, propagation, ground cover, and sunscreen use strategies. The treatments were based on the relationship between irrigation depth (calculated merely by the ratio of water volume applied to plant area) and reference evapotranspiration (ET_o). Experiment 1 used a randomized block design (DBC) with four treatments that combined different irrigation depths and ground cover: $0.31ET_o$ and $0.21ET_o$ without ground cover, $0.28ET_o$ and $0.19ET_o$ with ground cover. Experiment 2 analyzed irrigation depths of 266, 226, 180, and 14 mm in a 2×4 factorial design. Experiment 3 involved sunscreen use (with and without) combined with irrigation depths of 266 and 180 mm in 2022 and 470 and 269 mm in 2021, following a factorial design. Finally, Experiment 4 used a 4×2 factorial design, with the first factor related to types of seedlings (seed, grafting, cutting, and producer-produced seed - control), and the second factor related to irrigation depths of 266 and 180 mm. Various practices, such as water quantity, sunscreen use, ground cover, and propagation methods, did not impact passion fruit production (average of $14.81 \text{ kg plant}^{-1}$). In 2021, a reduction in water supply did not affect production, allowing for reduced water use in 2022. A 62% reduction in water resulted in a 170% increase in water productivity (7.03 to 18.99 kg m^{-1}).

3). Using less water enabled an expansion of irrigated areas and gross revenue, up to 152%. Compared to 2022, this increase was 53%. In Chapter II, the surface air renewal system was calibrated using Eddy covariance as a reference. The alpha coefficient values were determined under different atmospheric conditions, both as overall averages and on a monthly basis, for calculating sensible heat flux (H). Using the energy balance equation, crop evapotranspiration (ET_c) was determined. The RMSE for stable atmospheric conditions using alpha (0.5993) during the calibration process was 8.12 W m⁻², while for unstable conditions (0.9698), it was 27.13 W m⁻². The RMSE when comparing the entire data set between H_(Eddy covariance) and H_(Surface air renewal) without calibration was 29.94 W m⁻². After calibration using alpha of 0.9461, the RMSE changed only slightly to 29.55 W m⁻². Monthly alpha values showed a reduction with increasing leaf area. ET_c increased with increased leaf area, reaching an initial value of 2.4 mm, a maximum of 3.9 mm, and a final value of 3.2 mm. The K_c values obtained under experimental conditions ranged from 0.6 to 0.9.

Keywords: *Passiflora edulis*, fruit quality, Eddy covariance.

INTRODUÇÃO

A produção de maracujazeiro no Brasil em 2022 foi responsável pela geração de R\$ 1,97 bilhão de reais. Em comparação ao ano de 2018, com valor gerado de R\$ 1,01 bilhão, houve um crescimento na ordem de 93,5% (IBGE, 2022). Ainda segundo os dados do IBGE (2022), a produção de frutos no último ano contabilizado foi de quase 698 mil toneladas sendo a Bahia responsável pela produção de 227,9 mil toneladas de frutos. A otimização da produtividade se faz necessária, pois, apesar de ser maior produtor, o Estado apresenta uma produtividade de 12,27 t ha⁻¹, valor inferior à média do país de 15,30 t ha⁻¹.

Devido à predominância do clima semiárido na região, é frequente a exposição das plantas a diversos estresses abióticos, tais como baixa e/ou irregular precipitação, altas taxas de radiação, temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar. Esses fatores intensificam a demanda evaporativa da atmosfera.

Estes estresses abióticos causam principalmente o fechamento estomático para reduzir a perda de água. Como efeito adverso, o influxo do CO₂ é reduzido, causando prejuízos à fotossíntese. Além disso, com a redução do processo de vaporização da água, há elevação da temperatura foliar. A longo prazo, esses estresses abióticos podem reduzir a produtividade.

Dentre esses fatores de estresse, a exigência hídrica da cultura cultivada é a mais susceptível de ser superada, sendo viável contorná-la eficientemente por meio da administração controlada de água, ou seja, irrigação. Contudo, vislumbram-se cenários de escassez hídrica, demandando aprimoramentos na produtividade da água de irrigação e a implementação de soluções para mitigar os efeitos dos estresses abióticos, a fim de sustentar a produção de alimentos para uma população em constante crescimento exponencial.

O manejo adequado da irrigação, aliado ao uso de protetores solares para aumentar a reflexão da radiação solar, e sistemas de produção com estratégias para minimizar a evaporação da água do solo, como a aplicação de cobertura morta, são alternativas. Além disso, a utilização de genótipos adaptados ou métodos específicos de propagação de plantas (por exemplo, mudas) que fortaleçam a resiliência das plantas diante desses estresses são abordagens que requerem investigações para serem incorporadas pelos agricultores.

Para além da atenuação dos efeitos dos estresses abióticos, a precisa quantificação da evapotranspiração da cultura é essencial para o adequado manejo da irrigação. A busca por métodos economicamente viáveis é desejável para promover a otimização contínua da irrigação em microescalas. Entretanto, a incorporação de equipamentos é pouco comum entre os irrigantes, tornando o uso do coeficiente de cultivo (K_c), ajustado conforme as fases fenológicas, uma abordagem mais acessível.

À vista disso, objetivou-se no Capítulo I avaliar a produção e qualidade de frutos de maracujazeiro com uso de diferentes estratégias de manejo de irrigação aliado ao uso de protetor solar, cobertura do solo e diferentes tipos de mudas. Também foi avaliada a produtividade da água de irrigação e análise de custo considerando todos os tratamentos com variação do volume de água aplicado. No Capítulo II, a determinação da densidade de fluxo de calor sensível mediante o método de renovação do ar na superfície foi realizada para quantificar a demanda hídrica da cultura do maracujazeiro, empregando a equação do balanço de energia.

O aumento da produtividade da água utilizado na irrigação do maracujazeiro é esperado com a utilização de menores lâminas de irrigação, sem grandes prejuízos à produtividade. O uso do protetor solar pode minimizar a absorção da radiação de ondas curtas e assim reduzir o seu efeito deletério às plantas. Nessa mesma vertente de reduzir a absorção da radiação solar, o uso de cobertura do solo pode promover um ambiente com maior umidade devido à redução do processo de evaporação da água do solo, o que reduz a lâmina aplicada. Com relação ao tipo de propagação, espera-se uma maior uniformidade na produção de frutos oriundos de plantas propagadas vegetativamente.

Acredita-se que, embora o uso do coeficiente de cultivo (K_c) seja economicamente mais vantajoso para pequenos agricultores no manejo da irrigação, a viabilidade de determinar a demanda hídrica em escalas menores, por meio de equipamentos com custos de aquisição e manutenção mais acessíveis, é desejável, contanto que esses equipamentos possam fornecer dados com elevada precisão.

REVISÃO DE LITERATURA

Aspectos socioeconômicos do maracujazeiro

O maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims) é pertencente à família *Passifloraceae*. Destaca-se como cultura de grande importância socioeconômica devido ao alto consumo e necessidade de mão-de-obra, o que gera muitos empregos para a população (Ferreira, 2005).

Seus frutos apresentam alta aceitabilidade e grande potencial de exportação devido à alta qualidade em sais minerais e vitaminas, além de apresentar aroma e sabor agradáveis. Além do consumo *in natura*, sua polpa pode ser empregada na produção de geleias, doces, néctares, refrescos, sorvetes, dentre outros produtos culinários. Ainda são aproveitados a casca, que é rica em fibras solúveis e consumida na forma de farinha, as sementes, que são consideradas boas fontes de ácidos graxos e as folhas, órgão onde é extraído a passiflorina, vastamente utilizada como calmante natural (Carvalho et al., 2015; Borges; Lima, 2009).

A produção brasileira em 2022 foi de, aproximadamente, 698 mil toneladas de frutos, apresentando produtividade média de 15,30 t ha⁻¹ (IBGE, 2022). Com relação às exportações, 11 mil kg de frutos e quase 465 mil kg de suco foram exportados em 2019, gerando um retorno de 1,12 milhões de dólares (COMEX STAT, 2020).

O Nordeste detém maior participação (69,6%) e a Bahia é o maior produtor Nacional com 207 mil toneladas colhidas. Livramento de Nossa Senhora conta a maior produção Nacional juntamente com Barra da Estiva, Ituaçu, Rio de Contas e Dom Basílio, municípios do sudoeste da Bahia, que estão entre os 20 maiores produtores (IBGE, 2021). Vale salientar que esses valores podem ser incrementados, melhorando a produtividade da cultura visto que, embora a Bahia detenha a maior participação, o Ceará, segundo maior produtor, apresenta mais que o dobro da produtividade, com 12,27 e 23,53 t ha⁻¹, respectivamente (IBGE, 2022).

A utilização de cultivares geneticamente superiores, tais quais, BRS Gigante Amarelo, BRS Sol do Cerrado e BRS Rubi do Cerrado, aliado com a adoção de tecnologias adequadas na condução e manejo da cultura, podem proporcionar aumento da produtividade como observado por Rocha et al. (2019) no Distrito Federal.

Embora seja uma espécie de clima tropical e subtropical, logo amplamente adaptada às diversas regiões brasileiras, a baixa produtividade no Nordeste está atribuída

à baixa qualidade do material genético aliada a estresses bióticos e abióticos. (Andrade Neto et al., 2015; Rocha et al., 2019).

Estresse abiótico

O crescimento e desenvolvimento das plantas são afetados pela radiação, disponibilidade de água no solo e no ar (umidade relativa do ar), concentrações de dióxido de carbono e oxigênio, conteúdo e disponibilidade de nutrientes do solo, temperatura e toxinas (salinidade e metais pesados). Desbalanços destes parâmetros ambientais promovem alterações de ordem morfológica, bioquímica, fisiológica e moleculares negativas às plantas, podendo trazer prejuízos à produtividade das culturas, caracterizando, portanto, o estresse abiótico (Taiz et al., 2017).

Quando estas alterações ocorrem momentaneamente e são melhoradas conforme são submetidas a repetidos eventos de estresse hídrico, significa que as plantas passaram por um processo de aclimação. Por outro lado, quando as alterações promovem mudanças genéticas e são passadas para as próximas gerações, tal qual ocorreu no processo de evolução das plantas, este processo passa a ser denominado adaptação (Zhu, 2002).

Embora grande parte dos estudos sejam feitos com um fator de variação de estresse abiótico, geralmente os estresses ocorrem de forma combinada (Qaseem et al., 2018). Em regiões semiáridas, por exemplo, é comum a conjugação do déficit hídrico, excesso de radiação e altas temperatura.

A evapotranspiração está intimamente relacionada aos fatores climáticos, assim, aumentos na radiação solar e temperatura do ar intensificam a demanda hídrica pela atmosfera (Feller et al., 2016). Cerca de 45 a 50% da radiação que atinge a superfície está na faixa da luz visível (400 a 700 nm), conhecida como radiação fotossinteticamente ativa (PAR), que é usada pelas plantas. No entanto, apenas 5% dessa radiação é efetivamente utilizada na conversão de carboidratos, sendo o restante perdido como calor ou refletido (Ometto, 1981).

Altos níveis de radiação solar induzem a maiores taxas respiratórias, o que reduz a fotossíntese líquida (Pereira, 2002). A absorção de energia proveniente da radiação solar, incrementa a temperatura da folha. O resfriamento, por sua vez, ocorre por meio de processo convectivo, transpiração ou por emissão de onda longa para impedir a super excitação das clorofilas (Adams; Adams, 1996).

Outro efeito da alta radiação é o fechamento estomático (Brito et al., 2019), o que reduz a transpiração e também pode elevar a temperatura foliar. Isso pode reduzir a capacidade da planta de dissipar energia levando-a a saturação luminosa (Jiang et al., 2006). Também pode causar efeitos deletérios ao DNA, peroxidação lipídica, inibição da fotossíntese, entre outros (Correia et al., 2005).

Altas temperaturas do ar aumentam a fluidez dos lipídeos das membranas celulares podendo comprometer a sua integridade. Além disso, pode desnaturar proteínas, inativar enzimas nos cloroplastos e mitocôndrias (Wahid et al., 2007; Bokszczanin et al., 2013). Temperaturas superiores a 35 °C prejudicam a produção de frutos de maracujazeiro (Costa et al., 2008). Vale ressaltar que esses efeitos negativos impulsionados pela alta radiação solar e temperatura do ar, podem ser ainda mais prejudiciais quando aliados à baixa umidade no solo.

Estresses abióticos na cultura do maracujazeiro

A produção do maracujazeiro apresenta melhor desempenho em regiões com precipitação média anual entre 800 e 1.700 mm e temperatura média entre 23 e 25 °C (Borges; Lima, 2007). A coeficiente da cultura, essencial na determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c), varia entre 0,42 e 1,12 (Silva; Klar, 2002). Estudos mostram que a maior concentração de raízes está situada até 40 cm de profundidade (SOUSA et al., 2002). Dessa forma, o manejo da irrigação deve ser feito para que se mantenha a porção do solo, nesta profundidade, em condição de umidade satisfatória para a cultura.

A fase de produção do botão floral é o mais sensível ao déficit hídrico, seguida pela fase de frutificação. As plantas de maracujazeiro começam a frutificar após seis a oito meses a partir do plantio no campo. Iniciado o processo de frutificação, leva-se de 60 a 90 dias até que ocorra o amadurecimento dos frutos (Menzel et al., 1990). É recomendado que o potencial de água no solo seja mantido acima de -20 kPa durante esses períodos críticos. Por outro lado, o estresse hídrico no solo reduz o intervalo de dias para que ocorra a frutificação (Staveley; Wolstenholme, 1990).

Menzel et al. (1986) relatam que sob condição de déficit hídrico, o maracujazeiro produz folhas e flores menores, ocorre o amarelecimento das folhas jovens, morte dos brotos de ramos, presença de necrose nas margens e ponta das folhas. Ainda segundo esses autores, a redução de produção de massa seca ocorre antes mesmo do aparecimento

desses sintomas visíveis. A massa seca absoluta de raízes é reduzida, mas a perda na parte aérea é mais acentuada, daí há um incremento na relação entre raiz e parte aérea.

Para todos os órgãos da planta, o crescimento do maracujazeiro ocorre na faixa de 20 a 30 °C. Pesquisas com o efeito da temperatura no crescimento e produção do maracujazeiro são incipientes. Um dos poucos estudos foi desenvolvido por Menzel et al. (1986). Eles avaliaram o crescimento do maracujazeiro em função da temperatura. Observaram que baixa temperatura (15 °C durante o dia e 10 °C a noite) promove o menor crescimento, em relação às temperaturas mais elevadas. O ápice de produção de massa seca de folhas, caule, raízes e, conseqüentemente, total, é maior quando as plantas são submetidas a temperatura de 25 °C durante o dia e 20 °C a noite. Quando a temperatura imposta é de 30 °C durante o dia e 25 °C a noite, ocorre redução na produção de massa seca, bem como de absorção de nutrientes. A maioria dos nutrientes são absorvidos em maiores quantidades também à temperatura de 25 °C durante o dia e 20°C a noite.

Temperaturas do ar elevadas reduzem a produção de frutos, sobretudo pela baixa emissão de flores e pegamento dos frutos (Matsuda; Higuchi, 2020). Nakayama e Matsuda também observaram que temperatura média mensal variando entre 27 a 29 °C é o intervalo ótimo para produção do maracujá ‘Ruby Star’.

Outro fator que influencia na floração é a radiação solar. Os autores observaram que a radiação solar de 9,8 MJ m⁻² dia⁻¹ em ambiente controlado impossibilitou a floração. Contudo, em condição de campo, em alta temperatura (30 °C), houve produção de flores sob radiação entre 20 e 25 MJ m⁻² dia⁻¹ (Menzel et al. 1986).

Estratégias para aumento produtividade da água de irrigação

O uso de produtos refletivos ajuda a reduzir os efeitos negativos da alta radiação e temperatura do ar (Gharaghani et al., 2018). Esses produtos funcionam como materiais inertes que refletem as radiações ultravioleta, infravermelha e uma parte da radiação fotossinteticamente ativa (Conde et al., 2018).

O caulim, um silicato de alumínio de cor branca, é amplamente usado na agricultura. Quando pulverizado nas plantas e diluído em água, forma um filme protetor de partículas (Brito et al., 2019). Segundo Luciani et al. (2020), a aplicação desse silicato de alumínio pode reduzir a temperatura foliar em até 6,9 °C e, mesmo durante chuvas de verão, o filme protetor é mantido preservado.

São relatadas várias alterações morfofisiológicas com o uso dessa argila reflexiva, como aumento na eficiência no uso da água, na condutância estomática e, conseqüentemente, na concentração interna de CO₂ e na fotossíntese, bem como na eficiência fotoquímica e na produtividade, devido à mudança no microclima ao redor das folhas pulverizadas (Brito et al., 2018; Brito et al., 2019).

Uma maneira adicional de aumentar a eficiência no uso da água é reduzir a evaporação do solo através do uso de cobertura, que pode ser vegetal ou artificial. Além disso, a cobertura controla a umidade do solo, reduz a incidência de ervas daninhas, pragas e doenças, melhora a qualidade do solo e aumenta a produtividade (Parte et al., 2016).

Patra et al. (2023) apontam que, na cultura do quiabo, a combinação da lâmina de irrigação e utilização de cobertura do solo pode economizar até 56% do volume de água utilizado, o que possibilita aumentar a área de cultivo irrigado.

Aspectos intrínsecos das plantas também podem levar a uma maior eficiência no uso da água. Na cultura do maracujazeiro, a propagação por sementes resulta em heterogeneidade tanto no crescimento das plantas quanto na produção e qualidade dos frutos (Faleiro et al., 2019). Uma menor variabilidade desses atributos pode ser alcançada utilizando mudas propagadas vegetativamente por enxertia ou estaquia. Junqueira et al. (2006) observaram que as plantas enxertadas por estaquia apresentaram maior produtividade em comparação com as propagadas por enxertia e semente.

Além de proporcionar uma melhor manutenção do status hídrico da planta, a enxertia permite a adoção de combinações de copa e porta-enxerto para adquirir resistência ou tolerância a pragas e doenças. (Junqueira et al., 2006; Morgado et al., 2015). Na cultura do tomateiro, a enxertia ainda permite a maior tolerância à alta temperatura (Rivero et al.; 2003).

Vale ressaltar que mesmo com a adoção de estratégias que possam aumentar a eficiência no uso da água, primeiramente, é necessária uma correta quantificação da demanda hídrica da cultura.

Balanço de energia

A evapotranspiração da cultura trata-se da combinação entre os processos de evaporação e transpiração (Pereira et al., 1997). Segundo Hu et al. (2018), a evaporação é um processo físico de mudança do estado líquido para vapor da água proveniente do solo e da copa das plantas (etapa final da transpiração). Ainda segundo esses autores, a transpiração, por sua vez, é um processo físico-biológico cuja água é absorvida pelas plantas e perdida por meio dos estômatos.

Para fins de irrigação, a correta estimativa da evapotranspiração é crucial para atender à demanda hídrica da cultura e, ao mesmo tempo, gerir, eficientemente, os recursos hídricos (Xiong et al., 2022). Dentre as diversas formas de determinação, destaca-se o monitoramento da água no solo, por meio da umidade, tensão ou massa, e utilizando-se componentes do balanço de energia.

A radiação líquida ou saldo de radiação (R_n) é determinada utilizando-se um saldo radiômetro e representa toda a energia disponível para ser repartida entre o aquecimento do ar (densidade de fluxo de calor sensível - H), do solo (densidade de fluxo de calor do solo - G) e de mudança do estado físico da água (densidade de fluxo de calor latente - LE) (Equação 03) (Costa-Filho et al., 2021). Segundo Shapland et al. (2012), é menos dispendioso determinar LE usando o resíduo do balanço de energia, tendo posse dos dados de R_n , G e H .

$$R_n = LE + G + H \quad (03)$$

Em que: R_n – saldo de radiação ($W\ m^{-2}$); LE – fluxo de calor latente ($W\ m^{-2}$); G – fluxo de calor no solo ($W\ m^{-2}$) e; H – fluxo de calor sensível ($W\ m^{-2}$).

A radiação líquida depende do balanço entre a radiação de ondas curtas e de ondas longas (Equação 04). A radiação de ondas longas é composta pela diferença entre a radiação de onda longa oriunda da atmosfera e a radiação de onda longa proveniente da superfície terrestre (Equação 05). A radiação de ondas curtas representa a diferença entre a radiação global (radiação direta + radiação difusa) e a radiação refletida (Equações 05, 06 e 07).

$$R_n = R_{nS} - R_{nL} \quad (04)$$

$$R_n = (R_g - R_r) + (R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow}) \quad (05)$$

$$R_g = (R_d + R_c) \quad (06)$$

$$R_r = \alpha R_g \quad (07)$$

Em que: R_n – balanço de radiação; R_{nS} – balanço de radiação de onda curta; R_{nL} – balanço de radiação de onda longa; R_g – radiação global; R_r – radiação refletida; R_d – radiação direta; R_c – radiação difusa; α – albedo; $R_{L\downarrow}$ - radiação de onda longa oriunda da atmosfera; $R_{L\uparrow}$ - radiação de onda longa oriunda da superfície terrestre.

O fluxo de calor no solo pode ser determinado utilizando-se placas específicas que, geralmente, são instaladas a 0,08 m de profundidade e corrigidas para a superfície utilizando-se a temperatura e capacidade calórica do solo que depende da densidade e umidade do solo. Uma fração, estimada em 10% do saldo de radiação (R_n), é utilizada para o aquecimento do solo (G), quando não são instalados sensores de fluxo de calor no solo (Yang, 2022).

O uso da razão de Bowen estima os fluxos de calor sensível e latente utilizando-se gradientes de temperatura do ar, obtidos com psicrômetros de bulbo seco e úmido, em diferentes alturas (Pereira et al., 1997; Silva et al., 2007). A razão de Bowen (β) é expressa pela relação entre H e LE (Equação 08).

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (08)$$

De posse dos dados dos psicrômetros, β é obtido por meio da Equação 09 (Payero et al., 2003).

$$\beta = \gamma \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (09)$$

Em que: γ – fator psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); ΔT – diferença de temperatura e; Δe – diferença de pressão de vapor entre duas alturas sobre o topo do dossel.

A partir da razão de Bowen, é possível determinar LE utilizando-se a Equação 10. Neste caso, o fluxo de calor sensível é obtido como resíduo da equação de balanço de energia.

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (10)$$

Um outro método de determinação de densidade de fluxos escalares é o método de covariância de turbilhões (*Eddy Covariância*). Neste método, utilizando-se sensores de resposta rápida para a obtenção da velocidade vertical do vento e é considerado um método padrão (Hu et al., 2018). Com dados do vento, também é possível fazer a determinação pelo método aerodinâmico.

Atualmente, a covariância de turbilhões é considerada um método confiável na determinação do H e até mesmo do LE, quando utilizado o analisador de gases para a determinação direta. Uma forma de obtenção de fluxos escalares sem a necessidade de uso de dados de velocidade de alta frequência pode reduzir, consideravelmente, o custo de aquisição e manutenção de sensores, visto que, o anemômetro de resposta rápida é um aparelho caro (Paw U et al., 1995). Assim, o método de renovação do ar foi desenvolvido como uma alternativa para obtenção do H.

Determinação do fluxo de calor sensível pelo método de renovação do ar na superfície para estimativa da evapotranspiração da cultura

Assim, desenvolveu-se o método de renovação do ar na superfície (RAS) cuja teoria pressupõe que a parcela de ar em contato com a vegetação forma rampas de temperatura (Spano et al., 1997). Segundo Snyder et al. (1996), em condição atmosférica instável, uma porção do ar entra em contato com a vegetação com uma dada temperatura (acima da temperatura da vegetação), o que caracteriza a Fase I da Figura 01-A. Há uma transferência de energia da vegetação para o ar, elevando-se a temperatura do ar (Fase II). Esta porção de ar aquecido é rapidamente renovado por uma porção mais densa e fria (Fase III). Neste momento, ocorre uma queda na temperatura e o ciclo é reiniciado (Fase IV). Essa renovação da porção ou pacote de ar é o que deu origem ao nome do método. Na Figura 01-B é esquematizada a porção de ar frio, em azul, que substitui a porção de ar quente (vermelho), ocorrendo assim a renovação do ar.

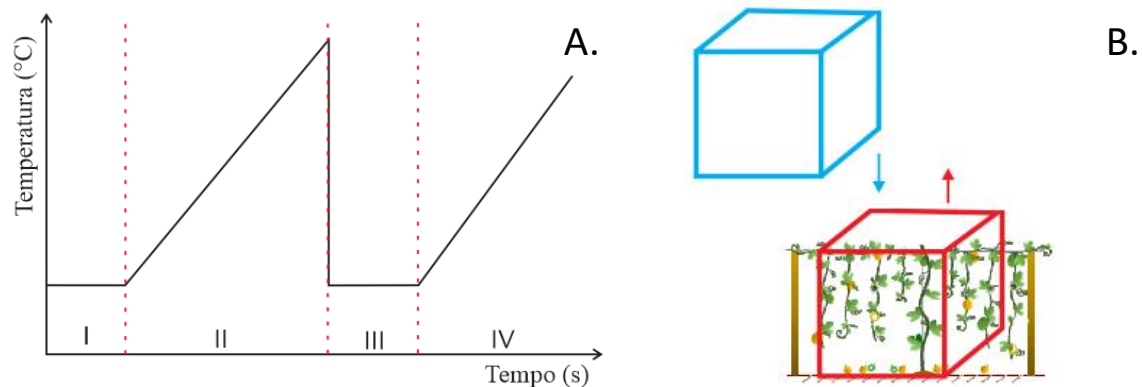


Figura 01 – Esquema representando o transporte de energia (calor sensível) em atmosfera instável graficamente (A) e em um cultivo agrícola (B). Adaptado de McElrone et al. (2013) e Silva (2021).

Em condição atmosférica estável, o processo ocorre de forma contrária. A temperatura do ar cai à medida que o calor é transferido para os elementos do dossel das plantas (Snyder et al., 1997). Assim, o funcionamento do método depende da utilização de termopar ultrafino, cujas leituras devem ser realizadas em alta frequência (2 a 10Hz).

As rampas de temperatura são caracterizadas pela amplitude (a), que representa o quanto a temperatura se eleva, e o inverso da rampa ($1+s$) constitui a frequência que ocorre a renovação da porção de ar que entra em contato com a vegetação, em que l é o comprimento da rampa e s é o espaço entre as rampas cuja temperatura se mantém constante, sendo ambos em base de tempo (segundos) (Snyder et al., 1996). Assim, o H é positivo quando o calor é transferido da vegetação para o ar e negativo quando o calor é transferido do ar para a vegetação (Figura 02).

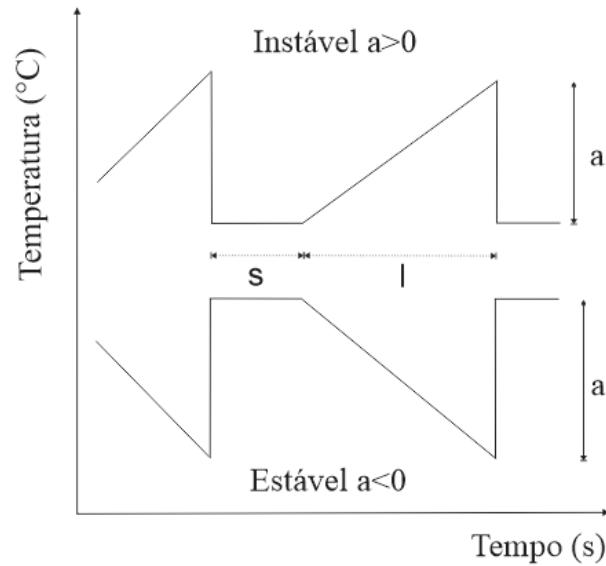


Figura 02 – Detalhamento da formação das rampas de temperatura em condição de atmosfera instável e estável. Adaptado de Snyder et al. (1996).

De posse de dados destes elementos de rampa, o fluxo de densidade de calor sensível é calculado conforme equação 11.

$$H' = \left[\rho C_p \frac{A}{l+s} z \right] \quad (11)$$

Em que: H' – calor sensível (W m^{-2}); ρ – densidade do ar (kg m^{-3}); C_p – calor específico do ar sob pressão constante ($\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$); A – amplitude da rampa ($^\circ\text{C}$); $a/(l+s)$ – frequência da rampa (s^{-1}) e; z – altura de medição da temperatura do termopar (m).

No entanto, Snyder et al. (1997) verificaram que o valor de H obtido por esta equação só é coerente quando a parcela de ar se aquece de forma uniforme e o fluxo é instantâneo. Em situação em que o aquecimento da parcela de ar se dá de forma irregular, há a necessidade de fazer a calibração utilizando um fator de ponderação (alfa- α).

Ainda segundo os autores, o alfa refere-se à inclinação da curva calculado por meio de uma regressão obtida entre dados de H da renovação de ar na superfície (H_{RAS}) (resultante da equação apresentada anteriormente) e o H obtido por um método padrão (Eddy covariância - H_{EC}), neste caso com um anemômetro sônico. Para isso, dados de H_{RAS} são plotados no eixo X, enquanto os dados de H_{EC} , no eixo Y. De posse do valor de α , o H pelo método de renovação do ar na superfície é obtido conforme equação 12.

$$H_{RAS} = \alpha H' \quad (12)$$

Em que: H_{RAS} – calor sensível obtido pelo método de renovação do ar na superfície após a calibração; α – coeficiente de calibração.

Vale ressaltar que o valor de alfa pode variar ao longo do tempo em função de alterações existentes na estrutura do dossel e estações do ano bem definidas (Poblete-Echeverría et al., 2014; Hu et al., 2023). No estudo de Hu et al. (2023) avaliando o uso do método de renovação do ar na superfície clássico (H_{Snyder} que foi abordado até o momento) com o método aprimorado (H_{Chen}), que consideram a mudança de temperatura que ocorre quando uma nova parcela de ar substitui a antiga e não apenas o processo instantâneo, observaram valores do coeficiente de calibração variando entre 0,82 a 1,52 no verão e primavera, respectivamente, pelo método H_{Snyder} .

Utilizando-se o coeficiente de calibração, o método de renovação do ar na superfície se mostra como a principal alternativa à covariância de turbilhões na obtenção do fluxo de calor sensível (H) (Suvocarev et al., 2014; Mekhmandarov et al., 2015). Na cultura da videira, cujo cultivo é semelhante ao maracujazeiro, Spano et al. (2000) sugeriram alfa igual a 1,0 a 90% da altura do dossel da planta com RMSE inferiores a 45 W m^{-2} .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, D.B.; ADAMS, W.W.N. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. **Plant Molecular Biology**, v. 43, p. 599-626, 1992.

ANA, **Atlas Irrigação**. 2017. Disponível em: <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>> Acesso em: 13 de maio de 2019.

ANDRADE NETO, R. C.; NGREIROS, J. R. S.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, K. P.; NOGUEIRA, S. R.; SANTOS, R. S.; ALMDEIDA, U. O. RIBEIRO, A. M. A. S. **Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro-amarelo cvs. BRS Gigante Amarelo e BRS Sol do Cerrado**. Comunicado Técnico 187, EMBRAPA, 2015.

BOKSZCZANIN, K. L.; FRAGKOSTEFANAKIS, S.; BOSTAN, H.; BOVY, A.;

BORGES, A. L., LIMA, A. A. Maracujazeiro. In: CRISÓSTOMO, L. A., NAUMOV, A (Org.) **Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**, Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009, p.166-181.

BORGES, A. L.; LIMA, A. A. Passion fruit. In: CRISOSTOMO, L. D.; NAUMOV, A.; JOHNTON, A. E. Fertilizing for high yields and quality: Tropical fruits of Brazil, p. 163–178, 2007.

BRITO, C.; DINIS, L. T.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C. Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. **Science Horticulturae**, v. 250, p. 310–316, 2019.

BRITO, C.; DINIS, L.; FERREIRA, H.; ROCHA, L.; PAVIA, I.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive tree responses to drought and rewatering. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 133, p. 29-39, 2018.

BRITO, C.; DINIS, L.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C. Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. **Scientia Horticulturae**, v. 250, p. 310-316, 2019.

CARVALHO, S. L. C. **Maracujá-Amarelo: recomendações técnicas para cultivo no Paraná**. Londrina: IAPAR, 2015, 54p.

CHATURVEDI, P.; CHIUSANO, M. L.; LI, H. Perspectives on deciphering mechanisms underlying plant heat stress response and thermotolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 315, p. 1-21, 2013.

CONDE, A.; NEVES, A.; BREIA, R.; PIMENTEL, D.; DINIS, L.; BERNARDO, S.; CORREIA, C. M.; CUNHA, A.; GEROS, H.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 223, p. 47-56, 2018.

CORREIA, C. M.; PEREIRA, J. M. M.; COUTINHO, J. F.; BJÖRN, L. O.; TORRES-PEREIRA, J. M. G. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. **European Journal of Agronomy**, v. 22, p. 337–347, 2005.

COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N.; VENTURA, J. A.; FANTON, C. J.; LIMA, I. M.; CAETANO, L. C. S.; SANTANA, E. N. **Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro**. Incaper, Vitória-ES, 2008, 56p.

COSTA-FILHO, E.; CHÁVEZ, J. L.; ZHANG, H.; ANDALES, A. A. An optimized surface aerodynamic temperature approach to estimate maize sensible heat flux and evapotranspiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 311, 108683, 2021.

EL-SHARKAWY, M. A. Global warming: Causes and impacts on agroecosystems productivity and food security with emphasis on cassava comparative advantage in the tropics/subtropics. **Photosynthetica**, v. 52, n. 2, p. 161–178, 2014.

ESPINOZA, J. C.; MARENGO, J. A.; RONCHAIL, J.; CARPIO, J. M.; FLORES, L. N.; GUYOT, J. L. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. **Environmental Research Letters**, v. 9, p. 1-9, 2014.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; JUNGHANS, T. G.; JESUS, O. N.; MIRANDA, D.; OTONI, W. C. Advances in passion fruit (*Passiflora* spp.) propagation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 2. p. 1-17, 2019.

FELLER, U. Drought stress and carbon assimilation in a warming climate: reversible and irreversible impacts. **Journal Plant Physiology**, v. 203, p. 84-94, 2016.

FERREIRA, F. R. **Recursos Genéticos em Passiflora**. In: FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BRAGA, M. F. (Org.). Maracujá - germoplasma e melhoramento genético. Planaltina: EMBRAPA CERRADOS, v. 1, p. 41-51. 2005.

FISCHER, E. M.; KNUTTI, R. Detection of spatially aggregated changes in temperature and precipitation extremes. **Geophysical Research Letters**, v. 41, p. 547-554, 2014.

GHARAGHANI, A.; JAVARZARI, A. M.; VAHDATI, K. Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut kernel quality in Persian walnut. **Scientia Horticulturae**, v. 239, p. 35-40, 2018.

GREGORY, P. J.; INGRAM, J. S. I.; BRKLACICH, M. Climate change and food security. **Philosophical Transactions**, v. 360, n. 1463, p. 2139–2148, 2005.

HU, H.; LU, Y.; HU, Y.; DING, R. Evaluation of Two Surface Renewal Methods for Calculating the Sensible Heat Flux over a Tea Field Ecosystem in Hilly Terrain. **Agronomy**, v. 13, n. 5, p. 1-13, 2023.

HU, Y.; BUTTAR, N. A.; TANNY, J.; SNYDER, R. L.; SAVAGE, M. J.; LAKHIAR, I. A. Surface Renewal Application for Estimating Evapotranspiration: A Review. **Advances in Meteorology**, v. 2018, p. 1-11, 2018.

IBGE. **Produção de maracujá**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acesso em 20 de abril de 2023.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 p., 2023.

JIANG, A.C.D.; GAOB, H.Y.; ZOUB, Q.; JIANG, G.M.; LIA, L. H. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, v. 55, p. 87-96, 2006.

JUNQUEIRA, N. T. V.; LAGE, D. A. C.; BRAGA, M. F.; PEIXOTO, J. R.; BORGES, T. A.; ANDRADE, S. R. M. Reação a doenças e produtividade de um clone

maracujazeiro-azedo propagado por estaquia e enxertia em estacas herbáceas de *Passiflora silvestre*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n.1, p. 97-100, 2006.

KOECH, R.; LANGAT, P. Improving irrigation water use efficiency: a review of advances, challenges and opportunities in the australian contexto. **Water**, v. 10, p. 1-17, 2018.

LUCIANI, E.; PALLIOTTI, A. FRIONI, T.; TOMBESI, S. VILLA, F.; ZADRA, C.; FARINELLI, D. Kaolin treatments on Tonda Giffoni hazelnut (*Corylus avellana* L.) for controlo f heat stress damages. **Scientia Horticulturae**, v. 263, p. 1-7, 2020.

MATSUDA, H.; HIGUCHI, H. Effects of temperatures on passion fruit flowering: A simulation model to estimate number of Flowers. **Tropical Agriculture and Development**, v. 64, n. 2, p. 54-60, 2020.

MCELRONE A. J.; SHAPLAND, T. M.; CALDERON, A.; PAW U, K. T.; SNYDER, R. L. Surface renewal: an advanced micrometeorological method of measuring and processing feld-scale energy fux density data. **Journal of Visualized Experiments**, v. 82, p. 1-11, 2013.

MEKHMANDAROV, Y.; PIRKNER, M.; ACHIMAN, O.; TANNY, J. Application of the Surface Renewal Technique in Two Types of Screenhouses: Sensible Heat Flux Estimates and Turbulence Characteristics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 203, p. 229-242, 2015.

MENZEL, C. M.; SIMPSON, D. R. & DOWLING, A. J. Water relations in passion fruit: effect of moisture stress on growth, flowering and nutrient uptake. **Scientia Horticulturae**. v. 29, p. 239–249, 1986.

MENZEL, C. M.; WINKS, C. W. & SIMPSON, D. R. Passion fruit. In: BOSE, T. K.; MITRA, S. K. **Fruits: Tropical and Subtropical**, p. 690–721, 1990.

MISHRA, V.; GANGULY, A. R.; NIJSSEN, B.; LETTENMAIER, D. P. overview. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, p. 199–223, 2007.

MORGADO, M. A. D.; BRUCKNER, C. H.; ROSADO, L. D.; SANTOS, C. E. M. Desenvolvimento de mudas de maracujazeiro-azedo enxertadas em espécies silvestres de Passiflora. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 2, p. 471-479, 2015.

NAKAYAMA, M.; MATSUDA, H. Soilless cultivation of ‘Ruby Star’ passion fruit: Effects of NO₃-N application, pH and temperature on fruit quality. **Scientia Horticulturae**, v. 306, p. 1-7, 2022.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1981. 425p.

ORLOWSKY, SENEVIRATNE, B. S. I. Global changes in extreme events: regional and seasonal dimension. **Climatic Change**, v.110, p. 669-696, 2012.

PARTE, V., DAGORE, P., KUJUR, A., MARKAM, U., 2020. Effect of mulching and methods of irrigation on okra (*Hibiscus esculentus* L. Moench). **International Journal of Current Microbiology Applied Sciences**, v. 9, n. 2, p. 759–765, 2020.

PATHAK, T.B.; MASKEY, M. L.; DAHLBERG, J. A.; KEARNS, F.; BALI, K. M.; ZACCARIA, D. Climate change trends and impacts on california agriculture: a detailed review. **Agronomy**, v. 8, n. 25, p. 1-27,2018.

PATHAK, T.B.; MASKEY, M. L.; DAHLBERG, J. A.; KEARNS, F.; BALI, K. M.; ZACCARIA, D. Climate change trends and impacts on california agriculture: a detailed review. **Agronomy**, v. 8, n. 25, p. 1-27,2018.

PATRA, S. K.; PODDAR, R.; PRATANIK, S.; BANDOPADHYAY, P.; GABER, A.; HOSSAIN, A. Growth, yield, water productivity and economics of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) in response to gravity drip irrigation under mulch and without-mulch condition. **Scientia Horticulturae**, v. 321, p. 1-15, 2023.

PAW U, K.T.; QIU, J.; SU, H.; WATANABE, T.; BRUNET, Y. Surface renewal analysis: A new method to obtain scalar fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, p. 119–137, 1995.

PAYERO, J. O.; NEALE, C. M. U.; WRIGHT, J. L.; ALLEN, R. G. Guidelines For Validating Bowen Ratio Data. *Transactions of the ASAE*, v. 46, p. 1051-1060, 2003.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 187p.

PEREIRA, C. R. **Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais**. 2002. 282 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2002.

QASEEM, M. F., QURESHI, R., MUQADDASI, Q. H., SHAHEEN, H., KOUSAR, R., RÖDER, M. S. Genome-wide association mapping in bread wheat subjected to independent and combined high temperature and drought stress. *PloS one*, v. 13, n. 6, p. 1-22, 2018.

RIVERO, R. M.; RUIZ, J. M.; ROMERO, L. Can grafting in tomato plants strengthen resistance to thermal stress? **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 13, p. 1315-1319, 2003.

ROCHA, F. E. C. FALEIRO, F. G., GONTIJO, G. M., ANDRADE, S. M. L. A A Expedição Safra Brasília – Maracujá e o Diagnóstico Comportamental da Atividade Produtiva. In: FALEIRO, F. G., ROCHA, F. E. C., GONTIJO, G. M., ROCHA, L. C. T. (Ed) **Maracujá: Prospecção de demandas para pesquisa, extensão rural e políticas públicas baseada na adoção e no impacto de tecnologias**. Expedição Safra Brasília, v.2, 2019, p.17-28.

SHAPLAND, T. M.; SNYDER, R. L.; SMART, D. R.; WILLIAMS, L. E. Estimation of actual evapotranspiration in winegrape vineyards located on hillside terrain using surface renewal analysis, **Irrigation Science**, v. 30, n. 6, p. 471–484, 2012.

SILVA, A. A. G.; KLAR, A. E. Yellow passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) crop water demand. **IRRIGA**. v. 7, n. 3, p. 185–190, 2002.

SILVA, N. D. **Balanco de energia e evapotranspiração em cultivo de mandioca industrial**. 2021. 105 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2021. Disponível em: https://ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/Neilon_Duarte_da_Silva_tese.pdf

SILVA, T. J. A.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, C. R.; ALVES JÚNIOR, J.; BONFIM-SILVA, E. M. Balanço de energia e estimativa da evapotranspiração em culturas irrigadas de maracujazeiro pelo método da razão de Bowen. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 392-403, 2007

SLINGO, J. M.; CHANLLINOR, A. J.; HOSKINS, B.; WHEELER, T. R. Introduction: food crops in a changing climate. **Philosophical Transactions**, v. 360, n. 1463, p. 1983-1989, 2005.

SNYDER, R. L.; SPANO, D.; PAW U, K. T. Surface renewal analysis for sensible and latent heat flux density. **Boundary Layer Meteorology**, v. 77, p. 249–266, 1996.

SNYDER, R.L., PAW U, K.T., SPANO, D.; DUCE, P. Surface renewal estimates of evapotranspiration. Theory. **Acta Horticulturae**, v. 449, p. 49-56, 1997.

SOUSA, V. F.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO FILHO, M. A.; FRIZZONE, J. A. Distribuição radicular do maracujazeiro sob diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 51-56, 2002.

SPANO, D.; SNYDER, R. L.; DUCE, P.; PAW U, K. T. Surface renewal analysis for sensible heat flux density using structure functions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 86, p. 259–271, 1997.

SPINONI, J; P.; BARBOSA, P.; JAGER, A.; MCCORMICK, N.; NAUMANN, G.; VOGT, J. V.; MAGNI, D.; MASANTE, D.; MAZZESCHI, M. A new global database

of meteorological drought events from 1951 to 2016. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 22, p. 1-24, 2019.

STAVELEY, G. W. & WOLSTENHOLME, B. N. Effects of water stress on growth and flowering of *Passiflora edulis* (Sims.) grafted to *P. caerulea* L. **Acta Horticulturalae**. v. 275, p. 551–558, 1990.

SUVOČAREV, K.; SHAPLAND, T.M.; SNYDER, R.L.; MARTÍNEZ-COB, A. Surface Renewal Performance to Independently Estimate Sensible and Latent Heat Fluxes in Heterogeneous Crop Surfaces. **Journal of Hydrology**, v. 509, p. 83-93, 2014

TAIZ, L. et al., A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017, 888p.

WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Heat tolerance in plants: an Changes in observed climate extremes in global urban areas. **Environmental Research Letters**, v. 10, p. 1-11, 2015.

XIONG, Y.; CHEN, X.; TANG, L.; WANG, H. Comparison of surface renewal and Bowen ratio derived evapotranspiration measurements in an arid Vineyard. **Journal of Hydrology**, v. 613, 1288474, 2022.

YANG, C. Climate and Management Impacts on Crop Growth and Evapotranspiration in the North China Plain Based on Long-Term Eddy Covariance Observation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 325, 2022.

ZHU, J. K. Salt and Drought Stress Signal Transduction in Plants. **Annual Review Plant Biology**, v.53, p.247-273, 2002.

CAPÍTULO I

PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DA PROPAGAÇÃO, COBERTURA DO SOLO E USO DE PROTETOR CONTRA RADIAÇÃO SOLAR NA PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO DO MARACUJAZEIRO AMARELO CULTIVADO NO SUDOESTE DA BAHIA

Produção em função da propagação, cobertura do solo e uso de protetor contra radiação solar na produção e produtividade da água de irrigação do maracujazeiro amarelo cultivado no Sudoeste da Bahia

Iumi da Silva Toyosumi¹, Maurício Antônio Coelho Filho², Tibério Santos Martins da Silva²

¹Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/Núcleo de Engenharia de Água e Solo, R. Rui Barbosa, n. 710 – 44380-000 – Cruz das Almas, BA – Brasil.

²Embrapa Mandioca e Fruticultura, R. Embrapa, s/n, C.P.007 – 44380-000 – Cruz das Almas, BA – Brasil.

RESUMO

O cenário de crescimento populacional aliado à crise hídrica, sendo esta última impulsionada pelas mudanças climáticas, são fatores que pressionam a agricultura irrigada a reduzir o volume de água utilizado. Assim, objetivou-se com esta pesquisa, avaliar a produção e a qualidade de frutos de maracujazeiro em quatro experimentos. Agrupando todos os tratamentos com variação do volume de água aplicado, avaliou-se a produtividade de água de irrigação (PAI em kg m⁻³) e uma simples análise de custo. Os tratamentos são aqui definidos pela relação da lâmina de irrigação e a evapotranspiração de referência (ET_o), cuja lâmina foi calculada meramente pela relação entre o volume de água aplicado pela área da planta de 5 m². O Experimento 1 foi desenvolvido em delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro tratamentos conjugando lâmina de irrigação e uso de cobertura do solo, sendo eles: 0,31ET_o e 0,21ET_o sem cobertura do solo e 0,28ET_o e 0,19ET_o com cobertura do solo. A lâmina total de 266, 226, 180 e 14 mm foram analisadas no Experimento 2. Desenvolvido em esquema fatorial 2x4, o uso do protetor solar (com e sem) combinado às lâminas de 266 e 180 mm no ano de 2022 e de 470 e 269 mm no ano de 2021 compreenderam o Experimento 3. Já o Experimento 4 foi desenvolvido em esquema fatorial 4 x 2, cujo primeiro fator foi constituído pelos tipos de mudas (semente, enxertia, estaquia e semente produzida pelos produtores – controle), enquanto o segundo, pelas lâminas de 266 e 180 mm. O uso de diferentes lâminas, uso de protetor solar, cobertura do solo e propagação não diferiram na produção de frutos de maracujazeiro, obtendo-se médias de 14,81 kg planta⁻¹. Os resultados obtidos no ano de 2021, com redução da oferta de água de 4.696 a 2.694 m³ ha⁻¹, sem impactos à produção de frutos de maracujazeiro, permitiram adoção de menores lâminas no ano de 2022.

Considerando todos os tratamentos com variação do volume de água aplicado às plantas (ano de 2021 e 2022), a redução do volume de água na ordem de 62% promove aumento da produtividade do uso da água em 170%, variando de 7,03 a 18,99 kg m⁻³. A adoção do manejo de irrigação com lâminas menores possibilita a expansão da área irrigada e, conseqüentemente, da receita bruta podendo chegar a 152%. Quando comparado os manejos adotados em 2022, esse incremento é de 53%.

Palavras-chave: *Passiflora edulis*, qualidade de frutos, análise de custo.

ABSTRACT

The scenario of population growth coupled with the water crisis, the latter being driven by climate change, are factors putting pressure on irrigated agriculture to reduce the volume of water used. Therefore, the aim of this research was to assess the production and quality of passion fruit in four experiments. Combining all treatments with variations in water volume, irrigation water productivity (PAI in kg m⁻³) was evaluated, along with a simple cost analysis. The treatments are defined here by the relationship between irrigation depth and reference evapotranspiration (ET_o), with the depth calculated simply as the ratio of water volume applied per plant area of 5 m². Experiment 1 was conducted using a randomized block design (DBC) with four treatments that combined irrigation depth and ground cover use, namely: 0.31ET_o and 0.21ET_o without ground cover, and 0.28ET_o and 0.19ET_o with ground cover. The total depths were 266, 226, 180, and 14 mm in Experiment 2. Developed in a 2x4 factorial design, Experiment 3 involved the use of sunscreen (with and without) combined with depths of 266 and 180 mm in 2022, and 470 and 269 mm in 2021. Experiment 4 was conducted in a 4 x 2 factorial design, with the first factor related to seedling types (seed, grafting, cutting, and producer-produced seed - control), and the second factor related to depths of 266 and 180 mm. The use of different depths, sunscreen use, ground cover, and propagation methods showed no significant difference in passion fruit production, with an average of 14.81 kg per plant. The results obtained in 2021, with a reduction in water supply from 4,696 to 2,694 m³ ha⁻¹, had no impact on passion fruit production, allowing for the use of lower depths in 2022. Considering all treatments with variations in water volume applied to the plants (in 2021 and 2022), a 62% reduction in water volume led to a 170% increase in water use efficiency, ranging from 7.03 to 18.99 kg m⁻³. The adoption of irrigation management with lower depths allows for the expansion of irrigated areas and, consequently, gross

revenue, potentially reaching up to 152%. When compared with the management practices adopted in 2022, this increase is 53%.

Keywords: *Passiflora edulis*, fruit quality, cost analysis.

INTRODUÇÃO

A população mundial é estimada para alcançar 9 a 10 bilhões em 2050 (FAO, 2021). Embora haja um incremento da produção mundial de alimentos para atender a esse aumento, a taxa percentual desse crescimento, ao longo dos últimos 50 anos, decresceu em virtude das variações ocorridas tanto na temperatura quanto na disponibilidade hídrica decorrentes das mudanças climáticas (Fisher et al., 2018; IPCC, 2023).

Em regiões áridas e semiáridas, a irrigação é necessária para atender artificialmente a demanda hídrica das culturas devido à baixa precipitação e distribuição irregular ao longo do tempo. Estima-se que aproximadamente 45% dos alimentos produzidos são provenientes de áreas irrigadas, que representam 25% da área agrícola utilizada, mas consomem 70% da água potável consumida (Wang et al., 2021).

Fishman et al. (2015) relatam que em diversos países não há regulamentação e precificação da água para o uso na irrigação das culturas, sendo estimulada a adoção de tecnologias que levam ao uso sustentável da água. Segundo Resende Filho et al. (2011), essa cobrança pelo uso da água, em teoria, deve racionalizar o seu uso através de melhorias na produtividade e eficiência. No entanto, os autores ressaltam que o impacto final depende do comportamento do irrigantes e não apenas do potencial técnico de conservação proveniente do uso das novas tecnologias, como por exemplo, sistema de irrigação por gotejamento.

A quantidade de água a ser disponibilizado para as plantas pode promover perdas na produção tanto quando é sub ou superdimensionada, assim a determinação do valor ótimo é indispensável para obter maior retorno econômico (Dutra et al., 2018). Uma forma de subsidiar a tomada de decisão no manejo da irrigação, é utilizando o potencial hídrico do solo. Veimrober Júnior et al. (2022) relatam valores de potencial hídrico do solo variando entre -6,95 a -19,85 kPa para ser utilizado no manejo da irrigação da cultura do maracujazeiro.

Além da redução do volume de água aplicado pelo manejo adequado da irrigação, outras estratégias podem ser aliadas para otimização da eficiência no uso da água. Pode-

se citar o uso de cobertura do solo para minimizar a perda de água por evaporação (Zhang et al., 2019), propagação vegetativa por promover a clonagem da matriz e assim obter um pomar com frutos uniformemente maiores (Junqueira et al., 2006). Há ainda o emprego de substâncias que têm como finalidade reduzir os danos térmicos causados pela alta radiação nas plantas (Boari et al, 2015; Luciani, et al., 2020).

O maracujazeiro, cultura estudada, gera emprego sobretudo no momento de polinização e colheita. Em 2021, produção foi de 864 mil toneladas produzidos em, aproximadamente, 45 mil hectares, obtendo-se uma produtividade média de 19,2 toneladas por hectare (IBGE, 2022). Na Bahia, maior produtor, a maior concentração está localizada na região Sudoeste do estado (IBGE, 2022), local caracterizado por baixa precipitação e altas temperaturas (Alvares et al., 2013).

Com o objetivo de avaliar a produção e qualidade de frutos de maracujazeiro amarelo, experimentos foram desenvolvidos para avaliar diferentes lâminas de irrigação, tipos de mudas, uso de cobertura do solo e de protetor solar. Adicionalmente, avaliou-se a produtividade da água de irrigação e análise de custo dos tratamentos com variação no volume de água ofertado.

MATERIAL E MÉTODOS

Aspectos gerais

Os experimentos foram desenvolvidos na coordenada geográfica de latitude 13°54'34.2" Sul, longitude 41°43'13.1" Oeste e altitude de 473,37 m, no município de Dom Basílio. O clima da região é semiárido, classificado como BSw. Segundo os dados da estação meteorológica do INMET de Brumado, instalada em 2008, a cerca de 40 km do experimento, a média anual de precipitação é de 573 mm, umidade relativa de 61,3% e temperatura média de 25,1 °C com máxima de 32,0 °C e mínima de 19,8 °C.

O pomar de maracujazeiro BGP-418 com espaçamento de 5 x 1 m, totalizando densidade de 2.000 plantas por hectare. O sistema de irrigação utilizado foi do tipo localizado, com gotejadores espaçados a 0,5 m formando faixa úmida contínua. O plantio foi realizado em 10 de abril tanto em 2021 quanto em 2022, utilizando-se mudas com aproximadamente 45 dias. Instalou-se duas espaldeiras espaçadas a 1,0 m da linha de plantio, ou seja, 2,0 m entre cada uma. As plantas foram então conduzidas de forma intercaladas, uma planta para um sentido e a seguinte para o sentido contrário. Desta

forma, cada planta podia expandir sua cortina de produção até 2,0 m. Assim, diferente dos sistemas mais conhecidos, o pomar apresentava espaçamento de 5,0 x 1,0 m no solo e de 2,5 x 2,0 na copa das plantas.

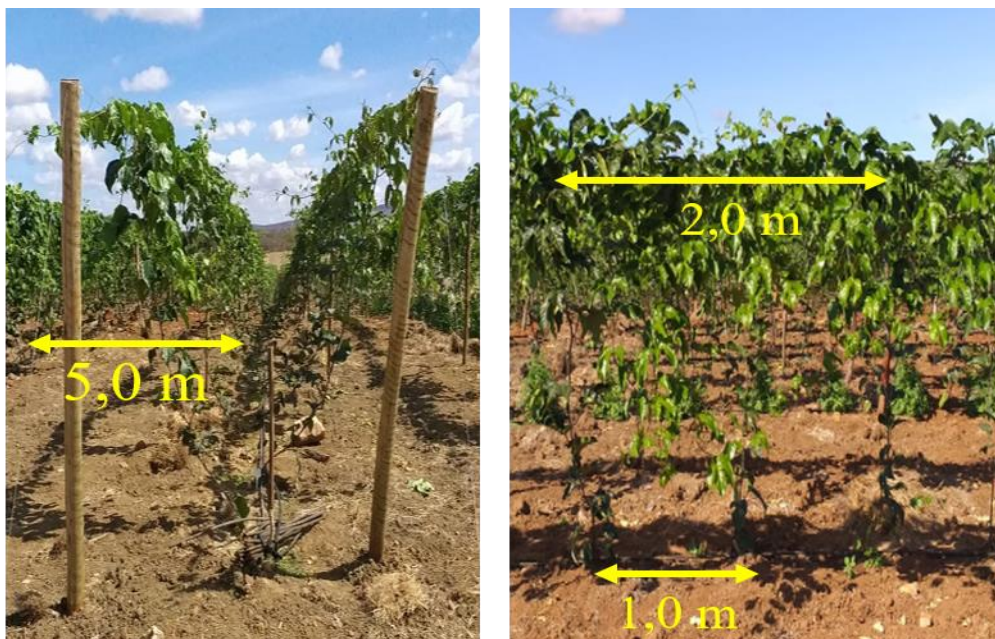


Figura 01 – Configuração do plantio em espaldeira dupla.

Foram coletadas amostras simples, com estrutura deformada, de 16 trincheiras com o intuito de compor uma amostra representativa para a análise química do solo, abrangendo as profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Além disso, a caracterização das propriedades físico-hídricas do solo foi conduzida em quatro amostras indeformadas, abrangendo as profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm. Os valores médios dessas características estão resumidos na Tabela 01. Observou-se um aumento progressivo no teor de argila à medida que a profundidade do solo aumenta. Na camada mais profunda analisada, foi identificado um teor de argila de aproximadamente 50%, o que contribui para uma maior capacidade de retenção de água no solo.

Tabela 01 – Análise química e física do solo da Fazenda Fagundes – Dom Basílio, Bahia.

Atributos químicos do solo													
Profundidade (cm)	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Ca+M g	Al cmol _c dm ⁻³	Na	H+Al	SB	CTC	V %	MO g kg ⁻¹
0-20	4,9	40	0,31	6,38	2,66	9,04	0,4	0,29	3,07	9,64	12,71	76	10,0
20-40	4,5	4	0,37	4,46	2,77	7,23	1,0	0,42	4,17	8,01	12,18	66	4,0
Atributos físicos do solo													
Profundidade (cm)	AMG	AG	AM	AF	AMF g kg ⁻¹	AT	Silte	Argila	Ds g cm ⁻³	Textura	θ ^{-10kPa} cm ³ cm ⁻³	θ ^{-800kPa} cm ³ cm ⁻³	
0-10	15	56	36	370	87	563	188	250	1,53	Franco argilo arenoso	0,29	0,18	
10-20	11	53	26	357	104	550	155	296	1,57	Franco argilo arenoso	0,28	0,18	
20-30	12	50	24	321	93	499	140	361	1,56	Argila arenosa	0,33	0,21	
30-40	10	43	64	218	75	408	136	456	1,50	Argila	0,43	0,36	
40-50	13	42	26	211	59	350	152	499	1,48	Argila	0,49	0,42	

AMG – areia muito grossa; AG – areia grossa; AM – areia média; AF – areia fina; AMF – areia muito fina; AT – areia total, Ds – densidade do solo, θ – umidade volumétrica.

Amostras indeformadas foram submetidas a tensões de 6, 10, 33, 100, 300 e 800 kPa na câmara de Richards para obtenção das suas respectivas umidades gravimétricas. De posse destes dados, foi ajustada a curva de Van Genuchten (1980), utilizando-se os valores médios das cinco profundidades e quatro repetições, conforme a equação 01.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \Psi_m)^n]^m} \quad (01)$$

Sendo: θ a umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_r a umidade residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_s a umidade saturada ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Ψ_m o potencial matricial (kPa); α , m e n parâmetros de ajuste do modelo.

Após o ajuste, a curva de retenção é evidenciada na Figura 02.

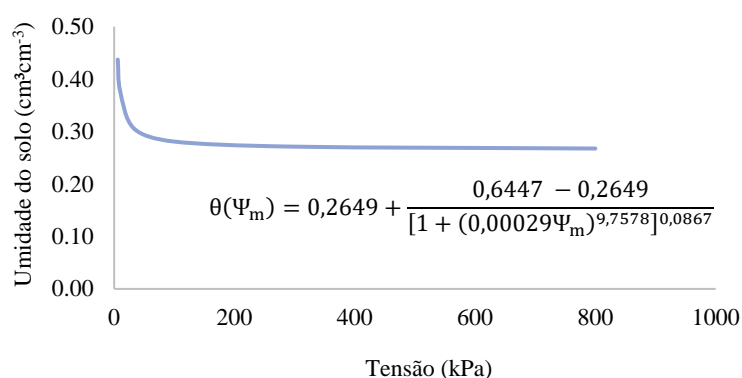


Figura 02 – Curva de retenção de água no solo onde foram desenvolvidos os experimentos.

Para estabelecer a redução da lâmina de irrigação, houve a modificação da vazão dos gotejadores. Como será detalhadamente exposto posteriormente, as fitas foram instaladas com vazões específicas para cada tratamento avaliado. No ano de 2021, a instalação das fitas com vazão diferente de $4,0 \text{ L h}^{-1}$ ocorreu 62 dias após o transplântio, enquanto em 2022 foram instaladas simultaneamente ao plantio.

A nutrição das plantas foi realizada por meio de fertirrigação duas vezes por semana, seguindo a recomendação para a cultura. Todos os tratamentos tiveram a mesma oferta de fertilizantes com a adição de fitas gotejadoras com mesma vazão em todos os tratamentos ($4,0 \text{ L h}^{-1}$). Assim, no momento da fertirrigação, a irrigação nas linhas com vazão diferente de $4,0 \text{ L h}^{-1}$ foi interrompida utilizando-se registros instalados no início das linhas. Concluída a fertirrigação, o registro da linha de $4,0 \text{ L h}^{-1}$ era fechado e o registro das linhas com vazões diferentes era então aberto.

Contabilizou-se diariamente o tempo de irrigação, sendo determinado o volume de água aplicado por planta. Assumiu-se a lâmina irrigada como resultado da relação entre o volume de água aplicado e a área ocupada pela planta (Equação 02 e 03).

$$LAM = \frac{V}{A} \quad (02)$$

$$V = QNTi \quad (03)$$

Sendo: V – volume de água aplicado por planta; A – área ocupada pela planta (5 m²); Q – vazão do emissor (L h⁻¹); N – número de emissores por planta (2 gotejadores) e; Ti – tempo de irrigação (h).

Periodicamente, o controle preventivo de pragas e doenças era realizado utilizando produtos recomendados à cultura.

A precipitação na região é bem definida (Figura 03). Entre os meses de maio a setembro, praticamente não há ocorrência de chuvas. No mês de abril, quando foram realizados os plantios, é caracterizado pelo final das chuvas de verão e temperatura ainda elevada. A partir de maio até agosto, nota-se temperaturas e umidade relativa do ar reduzidas. Em setembro e agosto, as temperaturas se elevam, o que reduz a umidade relativa do ar e, conseqüentemente aumenta o déficit de pressão de vapor (DPV).

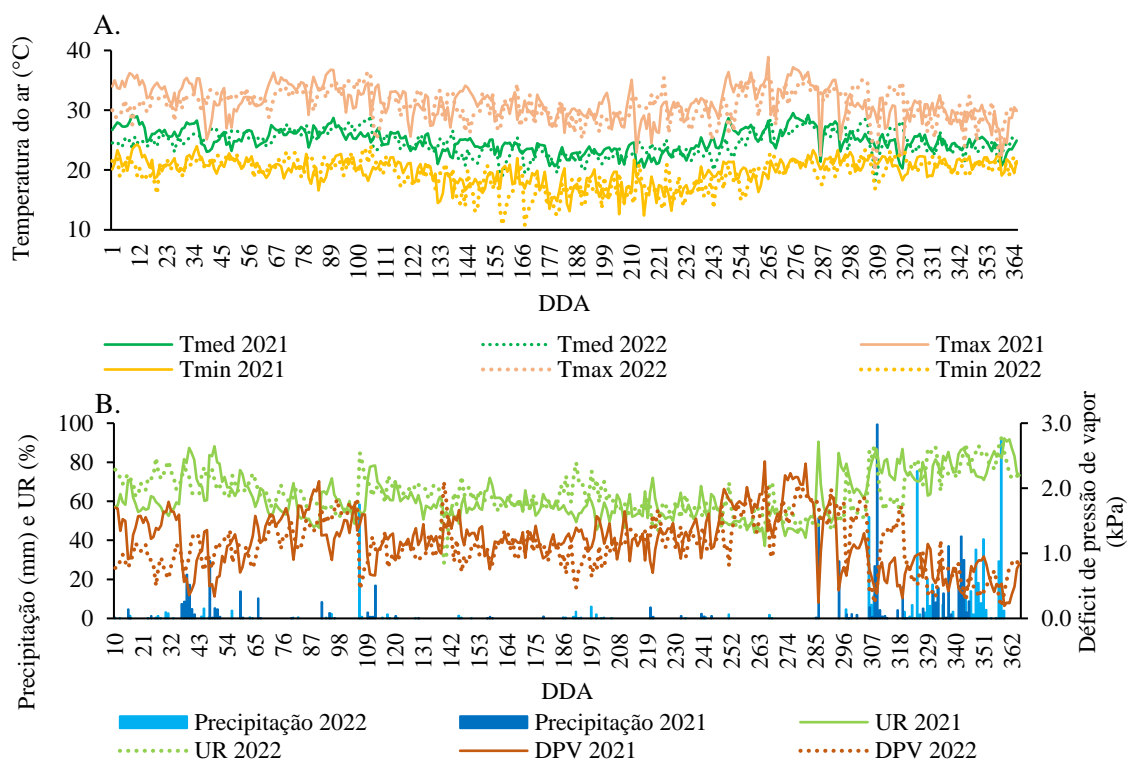


Figura 03 – Dados meteorológicos do INMET da estação meteorológica localizada em Brumado. Temperatura do ar (A), precipitação, umidade relativa (UR) déficit de pressão

de vapor (B) médios mensais correspondentes aos anos de 2021 e 2022 durante os meses de condução dos experimentos.

Estratégias para aumento da produtividade da água em maracujazeiro

Foram realizados quatro experimentos, nos anos de 2021 e 2022, com estratégias que visaram aumentar a produtividade da água, conforme é descrito a seguir.

Experimento I – Manejo da irrigação e uso de cobertura do solo para aumento da produtividade da água

O experimento foi desenvolvido em 2022 em delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos sendo eles: 0,31ETo sem cobertura do solo (0,31ETo_SC), 0,21ETo sem cobertura do solo (0,21ETo_SC), 0,28ETo com cobertura do solo (0,28ETo_CC) e 0,19ETo com cobertura do solo (0,19ETo_CC). A relação entre a lâmina total de água aplicada (mm) e ETo (mm) total do período de produção (LAM/ETo) definiu as estratégias de irrigação de cada nível estudado, considerando, nesse caso, um valor médio para todo período avaliado. Essas lâminas foram ajustadas conforme alteração da vazão dos gotejadores de 4,0 e 2,3 L h⁻¹ nas fitas gotejadoras.

No caso do fator manejo de água, a lâmina de irrigação total aplicada no ciclo produtivo foi de 266 e 180 mm nos tratamentos sem cobertura do solo e 236 e 163 mm nos tratamentos com cobertura do solo. O experimento contou com quatro blocos e sete plantas por parcela e quatro blocos, totalizando 112 plantas.

Aos 30 dias após o transplante, adicionou-se uma camada de biomassa seca de gramínea com espessura de 2 cm e largura de 50 cm com a planta centralizada a 25 cm nos tratamentos com cobertura do solo.

Experimento II – Determinação da lâmina de irrigação na cultura do maracujazeiro cultivado em região semiárida

O experimento foi desenvolvido em 2022 utilizando-se delineamento em blocos casualizados com quatro blocos e parcela constituída por sete plantas. Os tratamentos consistiram nas relações entre LAM/ETo de 0,31, 0,27, 0,21 e 0,17 a partir das lâminas totais aplicada de 266, 226, 180 e 144 mm, respectivamente. A lâmina correspondente a 0,27ETo foi atingida utilizando-se duas fitas gotejadoras com vazão de 1,6 L h⁻¹ cada, sem alterar a distribuição de água na superfície do solo, enquanto as demais utilizaram gotejadores com vazão de 4,0, 2,3 e 1,6 L h⁻¹.

Experimento III – Uso de protetor solar para mitigar os efeitos da alta radiação solar

O Experimento III foi desenvolvido em esquema fatorial 4 x 2. O primeiro fator foi constituído por quatro lâminas de irrigação, sendo elas: 0,63ETo e 0,36ETo (desenvolvidos no ano de 2021) e 0,31ETo e 0,21ETo (desenvolvidos em 2022) que foi conjugado ao segundo fator de duas condições de reflexão da radiação (com e sem uso de protetor solar). A lâmina aplicada durante o período experimental foi de 470, 269, 266 e 180 mm nos tratamentos 0,63ETo, 0,36ETo, 0,31ETo e 0,21ETo, respectivamente. O experimento foi desenvolvido em delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro blocos e parcela constituída por sete plantas, totalizando 112 plantas de maracujazeiro em cada ano.

No ano de 2021, os tratamentos somente foram implementados aos 62 dias após o transplante, enquanto em 2022 a instalação ocorreu no momento do transplante, sendo esse um dos motivos das lâminas de irrigação no ano de 2021 terem sido maiores.

O protetor solar Sombryt®, utilizado nesses experimentos, é composto por água e carbonato de cálcio e tem como proposta formar uma fina camada nas folhas de frutos que promove maior reflexão da radiação solar.

Experimento IV – Propagação de mudas de maracujazeiro associada ao uso de lâminas de irrigação: Impacto na produção e qualidade dos frutos

Neste experimento, desenvolvido no ano de 2022, utilizou-se o esquema fatorial 4 x 2. O primeiro fator foi constituído pelo tipo de muda sendo produzidas na região de forma sexuada como controle, e mais três tipos de mudas produzidas no município de Cruz das Almas, sendo elas: semente, enxertia e estaquia. O segundo fator foi constituído pelas lâminas de irrigação cuja relação LAM/ETo foi de 0,31 e 0,21 a partir das lâminas totais aplicadas de 266 e 180 mm, respectivamente.

Ramos produtivos foram coletados em novembro de 2021, de plantas saudáveis, para a confecção mudas do tipo estaquia. Essas mudas foram conduzidas para posteriormente serem coletadas estacas e ponteiros para enxertia.

Utilizou-se sementes de frutos do pomar de 2021 para formação de mudas sexuadas e para o porta enxerto das mudas do tipo enxertia. No tipo enxertia, tanto o porta

enxerto quanto a copa eram de um mesmo acesso. Assim, todas as mudas foram oriundas de um mesmo pomar.

As mudas foram transportadas do município de onde foram formadas, cujo clima é caracterizado como sub-úmido seco com precipitação pluvial média anual de 1.131 mm, apresentando um moderado excesso de água no inverno e temperatura média diária de 23,9 °C (Silva et al., 2016), para Dom Basílio, região com temperatura mais elevada e umidade relativa inferior.

Essas mudas não passaram pelo processo de aclimação, sendo realizado o plantio imediatamente após ao transporte em conjunto com as mudas produzidas na fazenda, o que pode ter reduzido o crescimento e, por conseguinte, a produtividade. Além disso, o vigor das mudas era diferente daquelas produzidas na propriedade o que induziu à inclusão do tratamento controle ao experimento.

Variáveis analisadas

Análise físico-químicas dos frutos

Amostras compostas dos frutos da colheita de outubro, em ambos os anos, foram utilizadas para avaliação físico-química. As variáveis físicas analisadas foram o comprimento e diâmetro do fruto e espessura da casca, utilizando-se um paquímetro digital. E com uma balança de precisão, foram pesadas a massa do fruto, massa da casca e a massa da polpa para posterior determinação do rendimento de polpa por meio da Equação 04.

$$RP = \frac{MP}{MF}100 \quad (04)$$

Sendo: RP o rendimento da polpa (%); MP a massa da polpa (g); e MF a massa do fruto (g).

O teor de sólidos solúveis (SS) foi determinado utilizando-se um refratômetro digital e expresso em °Brix. A acidez titulável (AT) da polpa, por meio de titulação com solução de hidróxido de sódio a 0,1 N e indicador fenolftaleína, sendo os resultados expressos em g/100g de ácido cítrico. A relação entre os sólidos solúveis e a acidez titulável, conhecido como *ratio*, foi determinado como um parâmetro que indica o grau de maturação do fruto.

Análise de produção de raízes

Apenas no Experimento IV, coletou-se amostras de raízes com volume de 10 x 10 x 10 cm. A coleta foi realizada na linha e entrelinha de plantio às profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. As distâncias da planta foram de 0-10, 20-30 e 40-50 cm na linha, enquanto na entrelinha foram de 0-10, 35-45 e 70-80 cm. Devido à distância do experimento e dificuldade de realização da coleta neste solo, que apresentavam muitos pedregulhos (Figura 04), apenas duas repetições foram coletadas.



Figura 04 – Detalhes da coleta de amostra de solo.

As raízes foram lavadas sobre peneira para completa remoção do solo, acondicionadas em álcool a 30% e mantidas sob refrigeração (5 °C) para avaliações do comprimento total e diâmetro médio. A análise do sistema radicular foi realizada utilizando-se um scanner Epson expression modelo 11000 XL (Seiko Epson Corporation) aliado à um software de raiz, modelo WhinRHIZO (Regent Instruments Inc., Québec, CA).

Produção e produtividade da água de irrigação

Como a cultura possui colheita diária, não era possível fazer esse acompanhamento. Para a determinação da produção do maracujazeiro, frutos com comprimento igual ou superior a 5 cm foram quantificados, uma vez que, as idas à fazenda ocorriam com uma periodicidade de duas vezes por mês. Esse comprimento foi escolhido por ser verificado poucos frutos abortados, diferente de frutos menores. A partir da massa média do fruto, obtido na análise físico-química, a produção em quilo por planta foi estimada.

A produção de frutos foi classificada de forma mensal. A partir do somatório da produção ao longo dos meses, determinou-se a produtividade em t ha⁻¹ utilizando-se uma densidade populacional de 2.000 plantas ha⁻¹.

Essas variáveis foram comparadas entre os tratamentos com variação no volume total de água aplicado, sendo eles: os tratamentos com volume de 2.348 e 1.347 L por planta desenvolvidos em 2021, lâminas dos experimentos desenvolvidos em 2022, sem o uso de cobertura do solo, de 1.332, 1.129, 900 e 722 L por planta e de 1.180 e 813 L por planta com uso de cobertura do solo.

Utilizou-se a nomenclatura produtividade da água de irrigação (PAI) sugerida por Fernandes et al. (2020) como a relação entre o rendimento comercializável produzido por uma cultura ao longo da estação de crescimento e a água de irrigação aplicada no mesmo período utilizando-se a Equação 05:

$$PAI = \frac{P}{V} \quad (05)$$

sendo, P a produção (kg) e V o volume de água aplicado via irrigação (m³). Adotou-se PAI pois a água aplicada não representa apenas o uso consuntivo (ETc), ocorrendo perdas por escoamento superficial e drenagem

A partir do volume de água aplicado, realizou-se uma simples análise de custo envolvido no manejo de irrigação, utilizando-se todos os tratamentos que houveram variação no volume de água aplicado e fixando-se um volume de água disponível de 10.000 m³, variando-se a área irrigada.

Resumo dos experimentos

Um resumo dos experimentos é demonstrado na Tabela 02.

Tabela 02 – Resumo dos experimentos desenvolvidos nos anos de 2021 e 2022.

Experimento	1º fator	2º fator	Ano	Volume (L)	Lâmina (mm)
Experimento I	0,31ETo SC	-	2022	1.332	266
	0,28ETo CC	-	2022	1.180	236
	0,21ETo SC	-	2022	900	180
	0,19ETo CC	-	2022	813	163
Experimento II	0,31ETo	-	2022	1.332	266
	0,27ETo	-	2022	1.129	226

	0,21ETo	-	2022	900	180
	0,17ETo	-	2022	722	144
Experimento III	0,31ETo	Sem protetor solar (SP)	2022	1.332	266
	0,31ETo	Com protetor solar (CP)	2022	1.332	266
	0,21ETo	Sem protetor solar (SP)	2022	900	180
	0,21ETo	Com protetor solar (CP)	2022	900	180
	0,63ETo	Sem protetor solar (SP)	2021	2.348	470
	0,63ETo	Com protetor solar (CP)	2021	2.348	470
	0,36ETo	Sem protetor solar (SP)	2021	1.347	269
	0,36ETo	Com protetor solar (CP)	2021	1.347	269
Experimento IV	0,31ETo	Controle	2022	1.332	266
	0,31ETo	Semente	2022	1.332	266
	0,31ETo	Enxertia	2022	1.332	266
	0,31ETo	Estaquia	2022	1.332	266
	0,21ETo	Controle	2022	900	180
	0,21ETo	Semente	2022	900	180
	0,21ETo	Enxertia	2022	900	180
	0,21ETo	Estaquia	2022	900	180

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa R (versão 4.3.1). As médias do Experimento I foram analisadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Nos Experimentos III e IV, não observada a interação entre os fatores, analisou-se o efeito isolado pelo teste F e Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

No Experimento II e na comparação entre os tratamentos em que houve a variação no volume de água aplicado, utilizou-se modelos de regressão quando significativos ao nível ($P < 0,05$).

Os dados foram transformados para $1/x$ e $\log(x)$ quando necessário para atender aos pressupostos do teste estatístico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise físico-químicas dos frutos

Experimento I e II

Não foram observados efeitos isolados bem como interações entre fatores nos aspectos físico-químicos de frutos de maracujazeiro, tanto no experimento I quanto no Experimento II. Os resumos da análise de variância podem ser observados nas Tabelas 03 e 04.

Tabela 03 – Quadrado médio da análise de variância do Experimento I.

FV	GL	PT	PAI	C	D	MC	MP	MF	SS	AT	SS/AT	RP
Quadrado médio												
Tratamento	3	16,04	51,78	0,67	0,29	2.041	243,5	1.423	4,02	0,26	0,03	70,13
Bloco	3	35,09	24,91	0,48	0,09	1.856	60,8	2.082	2,94	0,46	0,40	44,44
Resíduo	9	12,90	12,27	0,88	0,80	1.168	883,2	3.149	2,09	0,37	1,08	32,98
CV(%)		24,48	25,31	7,98	9,88	19,93	26,25	19,71	10,98	17,49	26,59	14,34
Médias												
		kg planta ⁻¹	kg m ⁻³	cm	cm	g	g	g	°BRIX	%		%
0,31SC		15,44	11,59	11,68	8,92	170,3	109,3	279,6	14,52	3,72	4,03	39,55
0,21SC		17,10	18,99	12,33	9,38	203,7	108,5	312,2	12,10	3,12	3,90	34,99
0,28CC		13,53	11,47	11,43	9,17	153,2	124,9	278,0	13,10	3,50	3,84	45,20
0,19CC		12,61	15,52	11,52	8,78	158,9	110,2	269,2	13,00	3,53	3,86	40,49

FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; PT – produção total; PAI – produtividade da água de irrigação; C – comprimento; D – diâmetro, MC – massa da casca, MP – massa da polpa; MF – massa do fruto; SS – sólidos solúveis; AT – acidez titulável; SS/AT – relação entre sólidos solúveis e acidez titulável e; RP – rendimento da polpa.

Tabela 04 - Quadrado médio da análise de variância e médias dos tratamentos do Experimento II.

CV	GL	PT	PAI	C	D	MC	MP	MF	SS	AT	SS/AT	RP
Lâmina (L)	3	18,97	220,7	0,30	0,28	88,1	499,39	821,0	4,75	0,37	0,05	49,11
Bloco	3	4,59	15,63	0,83	0,41	3475,9	772,92	3844,4	0,74	0,17	0,30	123,54
Resíduo	9	21,15	30,89	0,37	0,39	859,3	746,36	2185,9	4,77	0,39	0,96	29,14
CV (%)		32,26	30,19	5,03	7,0	16,05	23,22	15,57	16,88	19,34	24,2	13,71
Médias												
Tratamentos		kg planta ⁻¹	kg m ⁻³	cm	cm	g	g	g	°BRIX	%		%
266		12,31	11,59	11,68	8,92	170,32	109,28	279,58	14,53	3,73	4,03	39,58
226		14,79	13,10	12,12	8,86	182,30	120,60	302,90	12,38	3,11	4,11	39,40
180		17,10	18,99	12,33	9,38	203,70	108,53	312,20	12,10	3,12	3,91	34,98
144		12,82	17,74	12,09	8,80	174,22	132,23	306,45	12,78	3,10	4,16	43,55

FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; PT – produção total; PAI – produtividade da água de irrigação; C – comprimento; D – diâmetro, MC – massa da casca, MP – massa da polpa; MF – massa do fruto; SS – sólidos solúveis; AT – acidez titulável; SS/AT – relação entre sólidos solúveis e acidez titulável e; RP – rendimento da polpa.

Experimento III

Na Tabela 04 é apresentado o resumo da análise de variância em função do manejo da irrigação e uso do protetor solar. Não houve interação entre os fatores em nenhuma variável resposta de produção e qualidade de frutos ($p \geq 0,05$). O uso do protetor solar não promoveu diferenças significativas ($p \leq 0,05$) nas variáveis de produção e qualidade de frutos.

Tabela 04 - Quadrado médio da análise de variância e médias dos tratamentos do Experimento III.

FV	GL	PT	PAI	C	D	MC	MP	MF	SS	AT	SS/AT	RP
Quadrado médio												
Manejo da irrigação (M)	3	14,06 ^{ns}	357,7 ^{**}	4,23 [*]	0,50 ^{ns}	7583 ^{**}	145,1 ^{ns}	8254,6 [*]	5,30 ^{ns}	1,84 ^{**}	0,97 ^{ns}	193,7 ^{ns}
Protetor (F)	1	0,07 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,02 ^{ns}	21,0 ^{ns}	2033,2 ^{ns}	1586,2 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,06 ^{ns}	78,6 ^{ns}
M x F	1	3,34 ^{ns}	2,23 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,09 ^{ns}	364 ^{ns}	109,2 ^{ns}	518,1 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,15 ^{ns}	12,7 ^{ns}
Bloco	3	18,34 ^{ns}	29,1 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1140 ^{ns}	517,1 ^{ns}	2899,0 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,14 ^{ns}	19,2 ^{ns}
Resíduo	21	11,77 ^{ns}	18,7	0,94 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1082 ^{ns}	558,4 ^{ns}	2228,9 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,46 ^{ns}	31,0 ^{ns}
CV (%)		21,14 ^{ns}	28,58	8,49 ^{ns}	6,18 ^{ns}	20 ^{ns}	20,0 ^{ns}	17,03 ^{ns}	10,09 ^{ns}	10,96 ^{ns}	18,96 ^{ns}	12,9 ^{ns}
Médias												
Tratamentos	Ano	kg planta ⁻¹	kg m ⁻³	cm	cm	g	g	g	°BRIX	%	%	
0,63ETo	2021	17,11a	8,86c	10,99b	9,29a	145,62bc	123,27a	265,71ab	13,95a	4,22a	3,32a	46,87ab
0,36ETo	2021	15,76a	15,82b	10,74b	9,01a	126,33c	114,29a	239,91b	13,58a	4,20ab	3,29a	48,03a
0,31ETo	2022	14,58a	11,60bc	11,58ab	8,84a	172,91ab	115,07a	287,99ab	14,01a	3,62bc	3,96a	38,85bc
0,21ETo	2022	17,48a	24,18a	12,38a	9,39a	195,26a	120,10a	315,36a	12,26a	3,23c	3,84a	38,24c
SP	-	16,28a	15,06a	11,51a	9,11a	160,10a	110,21a	270,20a	13,61a	3,93a	3,56a	41,68a
CP	-	16,18a	15,17a	11,34a	9,15a	158,47a	126,16a	284,28a	13,29a	3,70a	3,65a	44,81a

FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; PT – produção total; PAI – produtividade da água de irrigação; C – comprimento; D – diâmetro, MC – massa da casca, MP – massa da polpa; MF – massa do fruto; SS – sólidos solúveis; AT – acidez titulável; SS/AT – relação entre sólidos solúveis e acidez titulável e; RP – rendimento da polpa, ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

Por outro lado, o manejo da irrigação causou efeito significativo nas massas do fruto e da casca, no rendimento da polpa e na acidez titulável (Figura 05). A massa média do fruto (Figura 5-A) de plantas do tratamento 0,36ETo foi de 239,9 g, diferindo de frutos do tratamento de 0,21ETo que apresentou a maior média (315,4 g). Embora o tamanho do fruto tenha aumentado em função do manejo da irrigação, nota-se que a produção de polpa não mostrou diferença significativa (Tabela 4). A massa da casca foi a variável mais afetada pelo manejo da irrigação (Figura 5-B), com um aumento na ordem de 54,6% quando comparados os tratamentos 0,36ETo (126,3 g) e 0,21ETo (195,3 g). Esse efeito não é considerado positivo, haja vista que a porção do fruto com maior interesse comercial é a polpa.

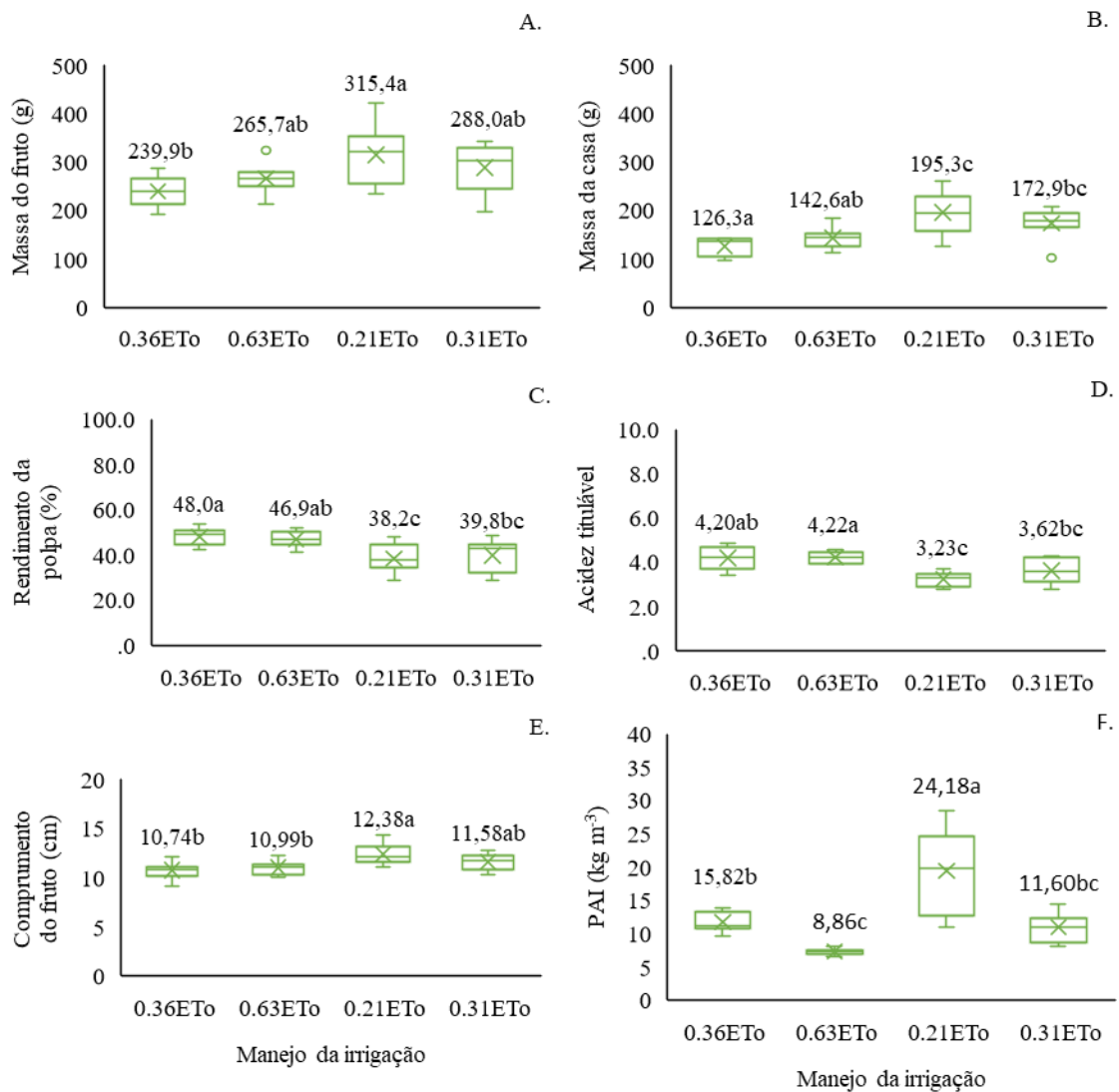


Figura 05– Efeito isolado do manejo da irrigação nas massas do fruto e da casca, rendimento, acidez titulável, comprimento de frutos de maracujazeiro e produtividade da água de irrigação.

As massas médias dos frutos obtidos neste experimento são maiores que as observadas por Aguiar et al. (2015) que obteve valores variando entre 172,3 a 227,8 g em híbridos de maracujazeiro-amarelo no norte do Paraná.

Em contrapartida, como ocorreu maior produção da casca, o rendimento da polpa, que é a relação entre a massa da polpa e a massa do fruto (Freire et al., 2014), foi reduzido. O tratamento 0,36ETo promoveu maior rendimento da polpa, com média de 48%, não diferindo significativamente do tratamento 0,63ETo (46,9%) no mesmo ano, mas diferindo dos tratamentos do ano de 2022 (0,31ETo– 39,8% e 0,21ETo – 38,2%).

A acidez titulável, no geral, foi mais elevada no ano de 2021 com valor médio superior a 4,0. A redução da lâmina em 2022 promoveu a menor média deste parâmetro, diferido dos tratamentos de 2021, porém sendo estatisticamente semelhante ao tratamento IP conduzido em 2022. Esses resultados são inferiores aos observados na literatura, sugerindo que pode ter ocorrido algum problema na aquisição dos dados. Aguiar et al. (2015) encontrou valores de AT variando entre 3,7 a 5,0%. Venâncio et al (2013) avaliando a qualidade de frutos de maracujazeiro-amarelo sob adubação nitrogenada, observaram valores entre 4,22 a 4,82%. No estado de Minas Gerais, Araújo Neto et al. (2005) verificaram valores variando entre 4,80 a 5,14% em função do espaçamento.

A variação encontrada na acidez está de acordo com pesquisas com a cultura (Campos et al., 2007, Farias et al., 2007, Ferreira & Antunes, 2019). Folegatti; Matsuura (2002) indicam acidez entre 3,2 e 4,5% para o processamento na indústria.

Tanto no tratamento 0,63ETo quanto 0,36ETo, em 2021 os frutos apresentaram menor comprimento em comparação 0,21ETo em 2022. Sugere-se que o aumento dos frutos em 2022 tenha ocorrido pelo melhoramento genético praticado de forma empírica por parte dos produtores que, a cada ano, escolhia frutos grandes e de formato alongado para a coleta de sementes e produção de mudas. Verifica-se que a produtividade da água de irrigação apenas foi influenciada pelo manejo da irrigação, entre 8,86 e 24,18 kg m⁻³.

Experimento IV – propagação

Na Tabela 05 é possível observar que não houve interação entre os fatores. Não houve efeito da interação entre os fatores nas variáveis resposta ($p \geq 0,05$). A massa da polpa foi afetada de forma isolada tanto pelo manejo da irrigação, quanto pela propagação.

Tabela 06 - Quadrado médio da análise de variância e médias dos tratamentos do Experimento IV.

FV	GL	PT	PAI	C	D	MC	MP	MF	SS	AT	SS/AT	RP
Manejo da irrigação (M)	3	0,90 ^{ns}	586,2**	0,98 ^{ns}	0,57 ^{ns}	111,01 ^{ns}	2133,68*	825,2 ^{ns}	17,55*	0,09 ^{ns}	1,36 ^{ns}	83,85*
Propagação (P)	1	23,36 ^{ns}	27,0 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,25 ^{ns}	731,91 ^{ns}	1670,42*	2201,2 ^{ns}	6,39 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,42 ^{ns}	57,53 ^{ns}
M x F	1	18,81 ^{ns}	22,0 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1021,45 ^{ns}	274,72 ^{ns}	2164,3 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,17 ^{ns}	4,32 ^{ns}
Bloco	3	3,02 ^{ns}	7,49 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1383,16 ^{ns}	183,21 ^{ns}	2010,2 ^{ns}	2,09 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,75 ^{ns}	44,79 ^{ns}
Resíduo	21	12,36	17,3	0,49	0,22	813,49	347,93	1514,5	3,55	0,32	1,06	18,26
CV (%)		23,15	25,2	5,9	5,16	16,2	15,8	13,29	14,55	16,65	26,51	10,7
Médias												
Tratamentos		kg planta ⁻¹	kg m ⁻³	cm	cm	g	g	g	°BRIX	%		%
0,31ETo		15,35a	12,21b	11,71a	8,92a	174,17a	126,26a	297,94a	13,7a	3,48a	4,09a	41,58a
0,21ETo		15,02a	20,77a	12,06a	9,19a	177,89a	109,92b	287,79a	12,22b	3,38a	3,68a	38,34b
Semente		12,64a	13,91a	11,54a	8,83a	167,22a	103,54b	270,75a	11,62a	3,23a	3,71a	38,05a
Enxertia		15,76a	16,45a	11,93a	9,02a	168,86a	125,05ab	293,90a	13,53a	3,35a	4,18a	42,59a
Estaquia		16,06a	17,63a	12,07a	9,24a	181,02a	134,87a	310,93a	13,38a	3,73a	3,70a	41,91a
Controle		16,27a	17,97a	12,00a	9,15a	187,01a	108,9ab	295,89a	13,31a	3,42a	3,97a	37,28a

FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; PT – produção total; C – comprimento; D – diâmetro, MC – massa da casca, MP – massa da polpa; MF – massa do fruto; SS – sólidos solúveis; AT – acidez titulável; SS/AT – relação entre sólidos solúveis e acidez titulável e; RP – rendimento da polpa, ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

O manejo da irrigação utilizando 0,31ETo promoveu maior produção de polpa dos frutos de maracujazeiro (Figura 06). A diferença em relação ao manejo com redução da lâmina foi na ordem de 14,8%. Comparando-se a forma de propagação, frutos de plantas propagadas via estaquia (134,9 g) apresentou maior produção de polpa, sendo superior às propagas via semente (103,5 g).

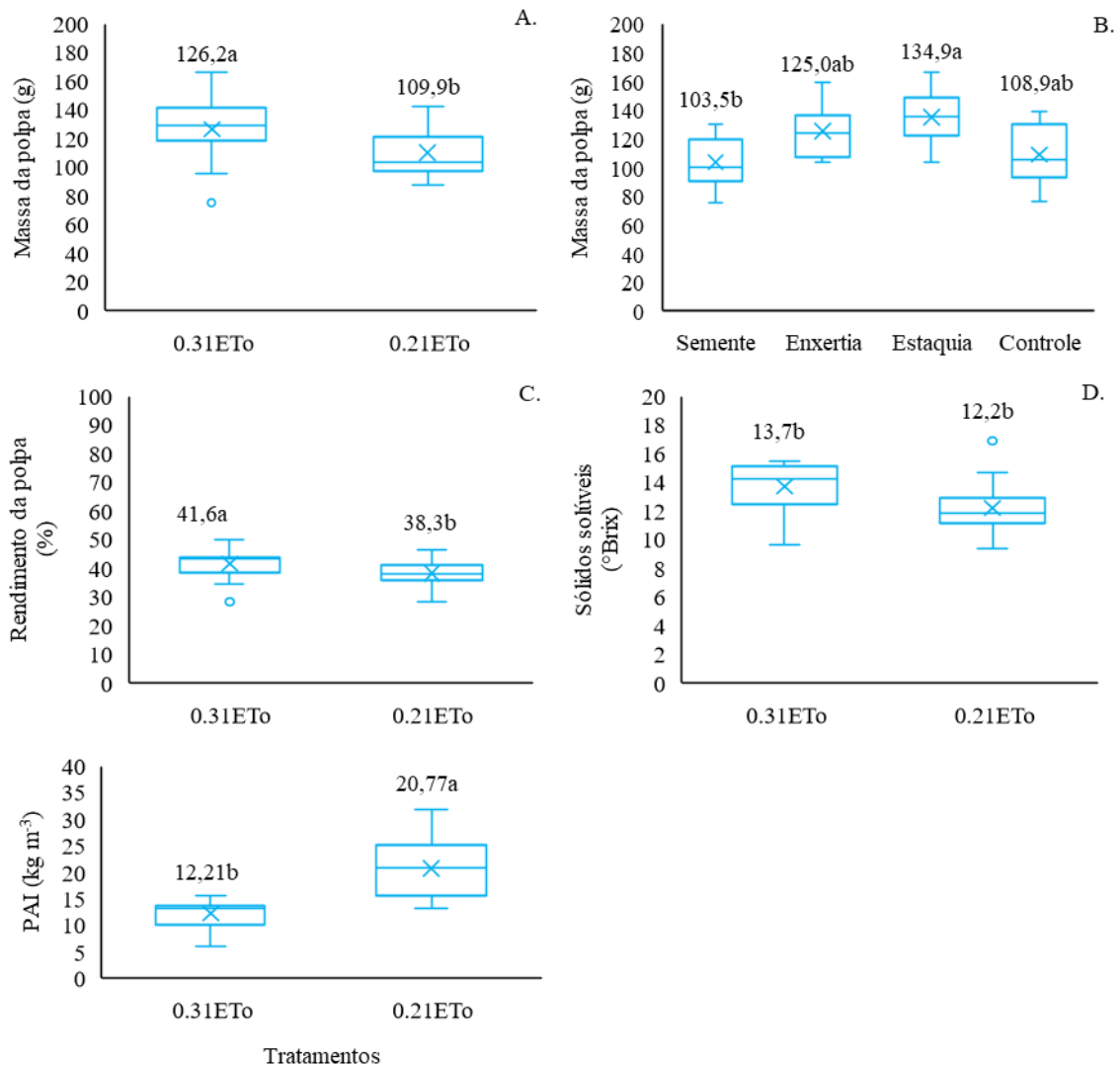


Figura 06 – Massa da polpa (A e B), rendimento da polpa (C), sólidos solúveis (D) e produtividade da água de irrigação (E) em função do manejo de irrigação e propagação das plantas.

Plantas propagadas de forma assexuada, que se apresentam como clone e, desta forma, mantêm as características das plantas matrizes, produziram frutos com média de massa da polpa igual ou superior a 125 g. Por outro lado, as plantas que foram propagadas por sementes produziram frutos com massa média da polpa inferior a 110 g. Sugere-se

que a variabilidade que pode acometer esse tipo de propagação tenha impactado em frutos mais desuniformes (Almeida et al., 1991).

Como a massa da polpa foi maior em frutos cujas plantas foram submetidas à maior lâmina, o rendimento da polpa seguiu a mesma tendência, com acréscimo de 8,6%. A concentração de açúcares presentes nesses frutos também foi superior quando comparado aos frutos de plantas cultivadas com lâmina inferior. A média de sólidos solúveis foi de 13,7 °Brix em frutos do tratamento que recebeu maior volume de água.

À luz da literatura, são encontrados valores inferiores de sólidos solúveis como em Farias et al. (2007) que obteve 11,1 °Brix e valores que podem chegar até 18,6 °Brix. Vale ressaltar que esse parâmetro depende, sobretudo, do estágio de maturação do fruto e, no momento em que foi realizada a coleta para análise, os frutos ainda apresentavam coloração de casca verde (Ferreira & Antunes, 2019).

Assim como ocorreu no experimento III, a produtividade da água de irrigação foi alterada apenas pelo manejo da irrigação.

Houve interação dos fatores manejo da irrigação e propagação das plantas apenas para o comprimento total e o volume do sistema radicular à profundidade de 20 a 40 cm e às distâncias de 20 a 30 e 40 a 50 cm (Tabela 07). O resultado da análise estatística para raízes não é claro em virtude do pouco número de repetições (2), que gerou alto coeficiente de variação atingindo percentual de até 219,16. Na entrelinha, não foram verificados efeito significativo dos tratamentos e sua interação (Tabela 08).

Tabela 07 – Resumo da análise de variância do comprimento total, volume e diâmetro médio do sistema radicular em função da profundidade (Z) e distância na linha de plantio (H).

Comprimento total do sistema radicular											
FV	GL	Z	0-20 cm			20-40 cm			40-60 cm		
		H	0-10	20-30	40-50	0-10	20-30	40-50	0-10	20-30	40-50
Manejo da irrigação (M)	1		1687112 ^{ns}	140378 ^{ns}	71081 ^{ns}	10463 ^{ns}	44453 ^{ns}	203025*	4,3 ^{ns}	4601,3 ^{ns}	9625,6 ^{ns}
Propagação (P)	2		1149514 ^{ns}	308340 ^{ns}	595692 ^{ns}	129121 ^{ns}	187958 ^{ns}	206664*	2736,4 ^{ns}	9027,2 ^{ns}	5316,9 ^{ns}
M x P	2		659410 ^{ns}	69231 ^{ns}	30587 ^{ns}	31407 ^{ns}	261415*	334942**	12946,4 ^{ns}	27690,1 ^{ns}	7884,0 ^{ns}
Bloco	1		231200 ^{ns}	1627333 ^{ns}	459401 ^{ns}	341798 ^{ns}	159187 ^{ns}	8013 ^{ns}	2914,4 ^{ns}	292,8 ^{ns}	2485,8 ^{ns}
Resíduo	5		746349	253466	556188	57495	34028	24688	11586,1	14333,0	10409,4
CV (%)			76,93	65,37	89,51	76,53	54,11	47,96	175,07	194,95	190,38
Volume total do sistema radicular											
FV	GL	Z	0-20 cm			20-40 cm			40-60 cm		
		H	0-10	20-30	40-50	0-10	20-30	40-50	0-10	20-30	40-50
Manejo da irrigação (M)	1		9,6302 ^{ns}	5,0285 ^{ns}	0,0879 ^{ns}	0,1104 ^{ns}	0,0354 ^{ns}	0,1860 ^{ns}	0,0016 ^{ns}	0,0320 ^{ns}	0,0187 ^{ns}
Propagação (P)	2		3,9073 ^{ns}	1,0032 ^{ns}	1,8992 ^{ns}	0,3122 ^{ns}	0,2895 ^{ns}	0,2086 ^{ns}	0,0163 ^{ns}	0,0668 ^{ns}	0,0225 ^{ns}
M x P	2		3,1341 ^{ns}	0,2386 ^{ns}	0,1371 ^{ns}	0,2030 ^{ns}	0,5604*	0,8232*	0,0848 ^{ns}	0,1899 ^{ns}	0,0204 ^{ns}

Bloco	1	5,2934 ^{ns}	3,0826 ^{ns}	3,4294 ^{ns}	0,6389 ^{ns}	0,4144*	0,2054 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0085 ^{ns}	0,0007 ^{ns}
Resíduo	5	4,1772	1,1718	0,7237	0,2030	0,0575	0,0961	0,06716	0,1179	0,0340
CV (%)		70,54	59,91	53,68	66,07	42,12	51,88	183,36	219,16	169,2

Diâmetro médio de raízes

FV	GL	Z	0-20 cm			20-40 cm			40-60 cm		
		H	0-10	20-30	40-50	0-10	20-30	40-50	0-10	20-30	40-50
Manejo da irrigação (M)	1		0,0008 ^{ns}	0,0408 ^{ns}	0,0133 ^{ns}	0,0033 ^{ns}	0,0133 ^{ns}	0,0300 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0208 ^{ns}	0,0033 ^{ns}
Propagação (P)	2		0,1108 ^{ns}	0,0175 ^{ns}	0,0100 ^{ns}	0,0108 ^{ns}	0,0175 ^{ns}	0,0075 ^{ns}	0,0900 ^{ns}	0,0300 ^{ns}	0,0658 ^{ns}
M x P	2		0,0408 ^{ns}	0,0058 ^{ns}	0,0133 ^{ns}	0,0208 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0025 ^{ns}	0,2433 ^{ns}	0,1733 ^{ns}	0,0658 ^{ns}
Bloco	1		0,0208 ^{ns}	0,0208 ^{ns}	0,0033 ^{ns}	0,0300 ^{ns}	0,0300 ^{ns}	0,0133 ^{ns}	0,0408 ^{ns}	0,1875 ^{ns}	0,0033 ^{ns}
Resíduo	5		0,0208	0,0268	0,0333	0,0260	0,0120	0,0073	0,0468	0,0495	0,1233
CV (%)			23,73	28,49	33,2	30,23	21,91	17,13	78,69	98,88	131,7

Tabela 08 - Resumo da análise de variância do comprimento total, volume e diâmetro médio do sistema radicular em função da profundidade (Z) e distância na entrelinha de plantio (H).

Comprimento total do sistema radicular											
FV	GL	Z	0-20 cm			20-40 cm			40-60 cm		
		H	0-10	35-45	70-80	0-10	35-45	70-80	0-10	35-45	70-80
Manejo da irrigação (M)	1		138551 ^{ns}	26609 ^{ns}	8775,9 ^{ns}	138551 ^{ns}	26609 ^{ns}	8775,9 ^{ns}	149,6 ^{ns}	5971 ^{ns}	200,2 ^{ns}
Propagação (P)	2		359963 ^{ns}	4956 ^{ns}	291,3 ^{ns}	359963 ^{ns}	4956 ^{ns}	291,3 ^{ns}	801,7 ^{ns}	12832 ^{ns}	2143,9 ^{ns}
M x P	2		90926 ^{ns}	39355 ^{ns}	14158,4 ^{ns}	90926 ^{ns}	39355 ^{ns}	14158,4 ^{ns}	3439,2 ^{ns}	14741 ^{ns}	1028,2 ^{ns}
Bloco	1		513103 ^{ns}	70722 ^{ns}	1908,1 ^{ns}	513103 ^{ns}	70722 ^{ns}	1908,1 ^{ns}	384,2 ^{ns}	16113 ^{ns}	3201,7 ^{ns}
Resíduo	5		577015	25044	31546,3	577015	25044	31546,3	2459,7	10467	1425,1
CV (%)			105,47	64,84	116,41	105,47	64,84	116,41	146,19	202,83	189,4
Volume total do sistema radicular											
FV	GL	Z	0-20 cm			20-40 cm			40-60 cm		
		H	0-10	35-45	70-80	0-10	35-45	70-80	0-10	35-45	70-80
Manejo da irrigação (M)	1		0,0484 ^{ns}	0,0466 ^{ns}	0,0031 ^{ns}	0,0484 ^{ns}	0,0466 ^{ns}	0,0031 ^{ns}	0,0031 ^{ns}	0,0033 ^{ns}	0,0004 ^{ns}

Propagação (P)	2		0,0091 ^{ns}	0,0128 ^{ns}	0,0133 ^{ns}	0,0091 ^{ns}	0,0128 ^{ns}	0,0133 ^{ns}	0,0037 ^{ns}	0,0286 ^{ns}	0,0056 ^{ns}
M x P	2		1,3594 ^{ns}	0,0953 ^{ns}	0,0490 ^{ns}	1,3594 ^{ns}	0,0953 ^{ns}	0,0490 ^{ns}	0,0121 ^{ns}	0,0444 ^{ns}	0,0046 ^{ns}
Bloco	1		7,2230*	0,0037 ^{ns}	0,0153 ^{ns}	7,2230*	0,0037 ^{ns}	0,0153 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0418 ^{ns}	0,0092 ^{ns}
Resíduo	5		0,5635	0,0478	0,0815	0,5635	0,0478	0,0815	0,0195	0,0247	0,0033
CV (%)			40,74	42,43	89,51	40,74	42,43	89,51	170,75	172,6	146,52
Diâmetro médio de raízes											
FV	GL	Z	0-20 cm			20-40 cm			40-60 cm		
		H	0-10	35-45	70-80	0-10	35-45	70-80	0-10	35-45	70-80
Manejo da irrigação (M)	1		0,0300 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0208 ^{ns}	0,0300 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0208 ^{ns}	0,0033 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,1008 ^{ns}
Propagação (P)	2		0,0833 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0833 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0758 ^{ns}	0,0058 ^{ns}	0,0525 ^{ns}
M x P	2		0,0100 ^{ns}	0,0408 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0100 ^{ns}	0,0408 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,1608 ^{ns}	0,0758 ^{ns}	0,1858 ^{ns}
Bloco	1		0,0533 ^{ns}	0,0408 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0533 ^{ns}	0,0408 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,1200 ^{ns}	0,3008 ^{ns}	0,1875 ^{ns}
Resíduo	5		0,0753	0,0368	0,0288	0,0753	0,0368	0,0288	0,0980	0,0568	0,0315
CV (%)			41,17	35,43	31,35	41,17	35,43	31,35	85,38	69,77	78,88

FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; Z – profundidade; H – distância da planta; ^{ns} – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% pelo teste F.

A caracterização do comprimento total do sistema radicular é evidenciada na

Figura 07.

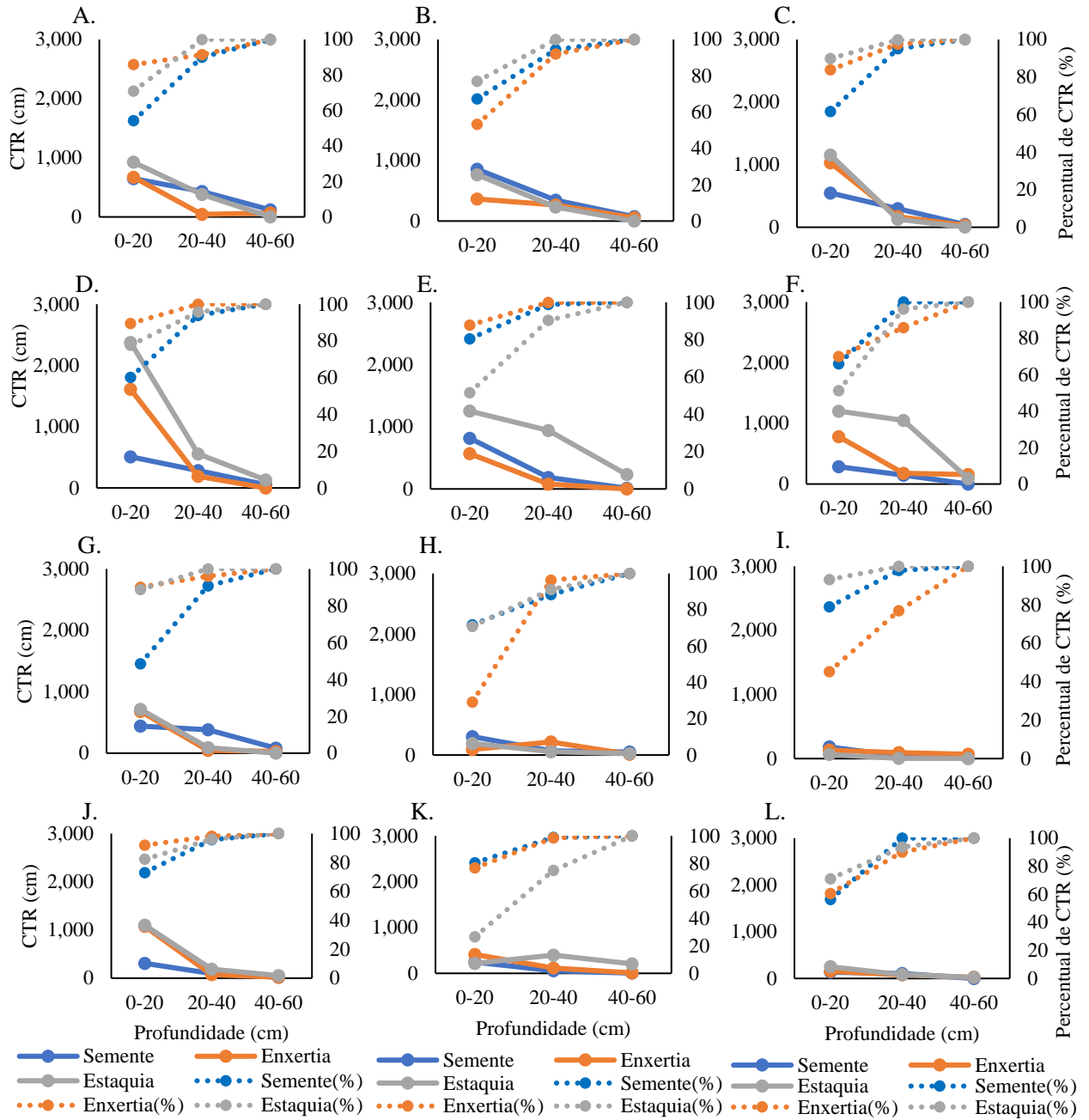


Figura 07 – Comprimento total do sistema radicular (CTR) e percentual de CTR em função do tipo de propagação e manejo da irrigação. Tratamento 0,31ETo à distância de 0-10 (A), 20-30 (B) e 40-50 (C) na linha e 0-10 (G), 35-45 (H) e 70-80 (I) cm na entrelinha de plantio e tratamento 0,21ETo com as mesmas distâncias de 0-10 (D), 20-30 (E) e 40-50 (F) na linha e 0-10 (J), 35-45 (K) e 70-80 (L) cm na entrelinha de plantio.

Todas as combinações entre propagação e distância na planta na linha ou entrelinha apresentaram concentração de 70% das raízes até 40 cm, corroborando com Sousa et al. (2002). Assim, independentemente do tipo de propagação, a profundidade efetiva do sistema radicular a ser utilizada nos dados de entrada para o manejo da irrigação mantem-se a 40 cm.

Foram encontradas poucas amostras com presença de raízes à profundidade entre 40 e 60 cm. Isso pode ser um indicativo de que o grande aporte de água não estimulava a maior produção e aprofundamento do sistema radicular.

Na entrelinha, havia uma menor quantidade de raízes, evidenciando-se pelo menor CTR. Vale ressaltar que esta era uma porção do solo com menor umidade, haja vista que as amostras foram coletadas até 80 cm de distância da planta, enquanto que na linha, havia a formação de faixa contínua de alta umidade. A concentração de raízes geralmente é limitada ao volume de solo onde é formado o bulbo úmido (Santos et al., 2016), assim a maior quantidade de raízes foi observada na linha de plantio.

Produção e produtividade da água de irrigação em função do volume total de água aplicado

No geral, as maiores produções concentraram-se entre agosto e setembro, em ambos os anos. Em outubro houve uma grande redução da produção, inclusive não sendo gerada uma florada com pegamentos de frutos no ano de 2021 (Figura 08).

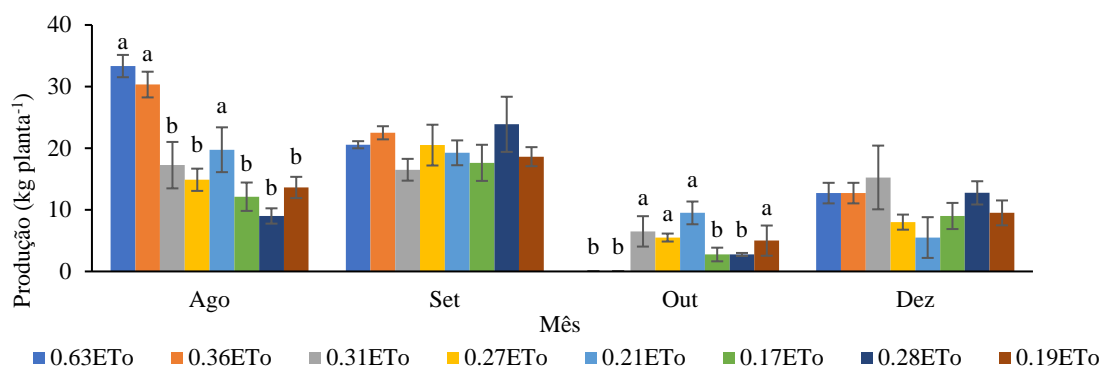


Figura 08 – Produção de frutos ao longo dos meses por plantas submetidas à oferta total de água distintas.

Como do período de floração até o amadurecimento de frutos durava em média 45 dias, nas condições locais, cada florada foi influenciada pelo mês anterior. Assim,

outubro sofreu influência de setembro, mês com temperatura máxima de 38,9 (2021) e 35,6 °C (2022). Os menores valores de umidade relativa do ar de 37,1% em 2021 e de 45,8% em 2022 em conjunto com as altas temperaturas promoveram DPV mais elevados, na ordem de 2,41 e 2,03 kPa nos anos de 2021 e 2022, respectivamente (Figura 03).

Essa condição crítica permaneceu em outubro, com temperatura máxima de 37,2 e 35,8 °C, de umidade relativa do ar de 41,2 e 44,9% e de DPV de 2,38 e 2,06 kPa, nos anos de 2021 e 2022, respectivamente (Figura 3). Isso pode ter inviabilizado a produção no mês de novembro, haja vista que a faixa considerada ótima para a cultura varia entre 23 e 25 °C (Costa et al., 2008).

Com o início das chuvas a partir do final de outubro no ano de 2021 e a partir de novembro em 2022, gerou-se um maior conforto térmico às plantas, com floração em novembro que permitiram a produção de frutos no mês de dezembro em ambos os anos. A precipitação acumulada de 204 e 244 mm, temperatura do ar máxima de 32,5 e 34,7 °C e umidade relativa do ar mínima de 62,8 e 53,7% caracterizaram o mês de novembro de 2021 e 2022, respectivamente.

Esses valores se assemelham aos registrados nos meses de junho e julho, quando ocorreram períodos contínuos de floração. Em 2021, junho registrou temperaturas máximas de 33,0 °C, umidade relativa do ar mínima de 52,6% e déficit de pressão de vapor (DPV) máximo de 1,42 kPa. No mês de julho, as temperaturas atingiram 35,1 °C, a umidade relativa mínima foi de 45,4%, e o DPV máximo foi de 1,64 kPa.

Já no ano de 2022, os meses de junho e julho apresentaram temperaturas máximas de 34,4 e 32,5 °C, umidade relativa mínima de 55,1 e 52,1%, e DPV de 1,35 e 1,37 kPa, respectivamente. Essas condições climáticas foram observadas principalmente durante esses meses devido à baixa precipitação em ambos os anos, uma vez que a região é caracterizada por um inverno seco, típico do clima da classificação BSwH.

Com relação a produção de frutos mensais, somente houve efeito das lâminas de irrigação ($p \leq 0,05$) nos meses de agosto e em outubro. No primeiro mês produtivo (agosto), os tratamentos de 2021 (0,63ETo e 0,36ETo) e o tratamento de 0,21ETo em 2022 apresentaram maiores produção, diferindo dos demais tratamentos. Além dos tratamentos de 2021, que não apresentaram produção, os tratamentos de 0,17ETo sem cobertura do solo e de 0,28ETo com cobertura do solo se mostraram inferiores aos demais (Figura 08).

Não foram observadas diferenças significativas na produção total de frutos (somando-se todos os meses) em função dos tratamentos envolvendo manejo de água, independente das reduções de lâminas estudadas nos dois anos, resultado que sugere possibilidades reais de reduções do volume de água a ser aplicado e aumento da PAI em relação ao que se pratica de manejo de irrigação no Perímetro irrigado de Brumado.

A produção média dos experimentos que tiveram variação no volume de água aplicado foi de 14,81 kg planta⁻¹, que corresponde a uma produtividade de 29,62 toneladas por hectare. A produtividade média obtida nestes dois anos representa um acréscimo de 94,1% em relação à média nacional de 15,26 t ha⁻¹ e de 140% quando comparada à média do Estado da Bahia (12,34 t ha⁻¹) (IBGE, 2021). Com área colhida de 918 hectares, o município de Dom Basílio, onde foi desenvolvida a pesquisa, apresenta uma produtividade ainda mais baixa, de 7,56 t ha⁻¹. Assim, a produtividade atingida é de quase 4 vezes à média do município.

Mesmo com um ciclo de apenas 9 meses, a produção foi relativamente próxima ao atingido por Sousa et al. (2003) de 40,98 t ha⁻¹ com a aplicação 1,87 m³ planta⁻¹ (944 mm ano⁻¹), sendo a maior produtividade ao testar níveis de irrigação e doses de potássio. Ainda nesta pesquisa, os autores contabilizaram volume de água aplicado variando de 927 a 2.706 L por planta, obtendo-se, com exceção do tratamento sem aplicação de potássio, equações polinomiais de segundo grau com redução da produção nos tratamentos com maior aplicação de água.

Por outro lado, a produtividade obtida nesta pesquisa, foi 11,86% superior à observada por Rodrigues-Yzquierdo et al. (2020) em experimento avaliando a aplicação de 100, 66 e 33% da evapotranspiração da cultura com produção máxima acumulada em dois anos de 26,48 t ha⁻¹. Quando se compara com o primeiro ano produtivo (14,77 t ha⁻¹), o incremento é de 100%, enquanto no segundo ano (12,11 t ha⁻¹) é de 145%.

O volume acumulado aplicado via irrigação variou entre 1.445 (144 mm) a 4.696 m³ por hectare (470 mm). O volume total água aplicado neste último tratamento, de 0,63ETo, corresponde a 3,25 vezes o volume utilizado na irrigação do tratamento de menor vazão (0,17ETo), como evidenciado na Figura 09. No entanto, a produção atingida só apresenta acréscimo na ordem de apenas 28,9%, variando de 25,6 a 33,0 t ha⁻¹. A adoção da lâmina que corresponde a 0,21ETo apresentou maior produtividade, mesmo com redução do volume de água aplicado. Segundo Carr (2013), as localidades com

produção de maracujá possuem uma precipitação média anual que varia entre 800 a 1.700 mm.

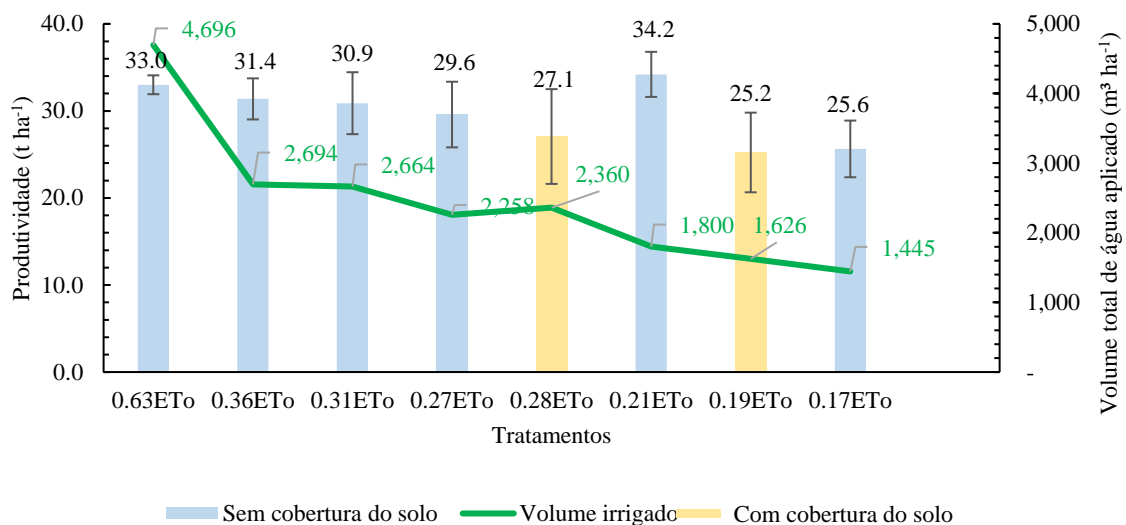


Figura 09 – Volume total de água aplicado (m³ ha⁻¹) e produtividade de maracujazeiro (t ha⁻¹) sob diferentes regimes de oferta de água nos anos de 2021 e 2022 em Dom Basílio-BA.

A produtividade da água de irrigação diminuiu à medida que o volume de água aplicado aumentou. As médias mais elevadas foram observadas nos tratamentos com 0,21ETo (18,99 kg m⁻³) e 0,17ETo (17,74 kg m⁻³), nos quais o volume total de água aplicado foi de 0,900 m³ e 0,722 m³ por planta, respectivamente (Figura 10). Dado que as produtividades não apresentaram diferenças estatisticamente significativas neste estudo (Figura 09), podemos concluir que a maximização da produtividade da água foi alcançada em pomares de maracujazeiro irrigados por gotejamento no ciclo produtivo de 2021 a 2022, com o uso de lâminas totais de, no máximo, 900 litros por planta ou 180 mm.

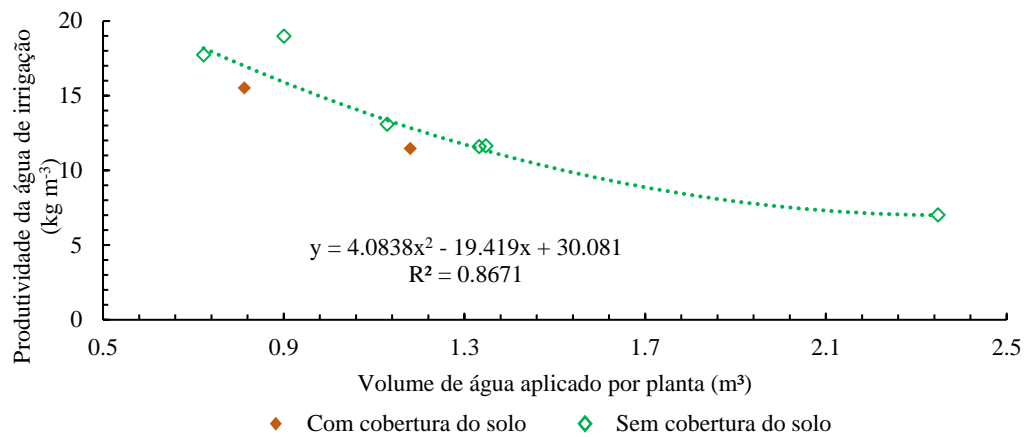


Figura 10 – Produtividade da água de irrigação dos tratamentos com variação no volume de água total aplicado.

Ao comparar diferentes tratamentos com 100, 66 e 33% da ETo na Venezuela, Rodriguez-Yzquierdo et al. (2020) obtiveram relação entre água aplicada e a produção de fruta produzida na ordem de 101, 87 e 70 litros por quilo, no primeiro ano, e de 76, 68 e 58 L kg⁻¹ no segundo ano, respectivamente.

Veimrober Júnior et al. (2022) observaram uma variação da relação entre a produção de frutos e consumo de água entre 11,44 a 6,46 kg m⁻³ com manejo da irrigação realizado para retorno do potencial matricial a -6, -10, -20 e -33 kPa e turno de rega fixo de 2 dias. A pesquisa foi desenvolvida em ambiente protegido e região caracterizada como subúmida.

O uso da cobertura do solo aliado à uma menor lâmina (0,19ETo) proporcionou PAI de 15,5 kg m⁻³, sendo a terceira maior entre os tratamentos. Por outro lado, o uso da lâmina de 0,63ETo em 2021 foi o tratamento com o maior somatório do volume de água aplicado. Isso proporcionou uma PAI de apenas 7,03 kg m⁻³. A redução da lâmina de irrigação em função do uso da cobertura do solo é possível devido a minimização da evaporação da água presente na faixa molhada, o que aumenta o intervalo entre os eventos de irrigação.

Assim, a adoção da lâmina de 0,19ETo conjugada à cobertura do solo promoveu um incremento da PAI na ordem de 120% enquanto esse incremento com a adoção da lâmina de 0,17ETo foi de 152% e de 0,21ETo, de 170%, quando comparados ao tratamento de maior volume total aplicado (0,63ETo). Essa maior diferença de 170% ocorre com uma redução em 62% do volume de água aplicado.

A produtividade da água de irrigação em 2021 foi menor devido ao fato de a redução da lâmina ter sido aplicada somente 62 dias após o transplante das plantas. Além disso, os resultados observados no primeiro ano, nos quais a redução da lâmina não teve impacto na produtividade, contribuíram para aumentar a conscientização dos produtores em relação à gestão da água de irrigação.

Os resultados corroboram com Souza et al. (2005) que obtiveram redução da PAI com o aumento da lâmina de água aplicada e afirmam que um leve aumento na produção em função da quantidade de água aplicada pode não otimizar o recurso em questão. Nesta pesquisa em questão, os autores avaliaram o efeito de doses de potássio e lâminas de irrigação. Notaram que sem a aplicação de potássio, a relação entre a produção de frutos e volume de água aplicado variou entre 18,25 e 7,85 kg ha⁻¹ L⁻¹, enquanto no tratamento com maior dose de potássio (0,90 kg planta⁻¹) houve variação entre 34,05 a 10,19 kg ha⁻¹ L⁻¹.

É possível notar que, embora na maioria dos casos haja acréscimo na produtividade com o aumento do volume de água ofertado, isso não significa que há também a maximização da relação entre produção comerciável e volume de água aplicado. Neste sentido, pesquisas como esta, que busquem esta relação, devem ser realizadas para permitir a tomada de decisão que garanta a segurança alimentar, com sustentabilidade ambiental e econômica a longo prazo (Koech; Langat, 2018).

Os irrigantes buscam a máxima receita proveniente da atividade agrícola (Quresh et al, 2011), geralmente desempenhando-a de um ponto de vista mais “seguro”, de forma que o solo se mantenha sempre com alta umidade e água facilmente disponível na zona radicular das plantas, como é o caso que ocorreu no presente trabalho, quando os potenciais matriciais da água do solo permaneceram abaixo de -20 kPa (Figura 11).

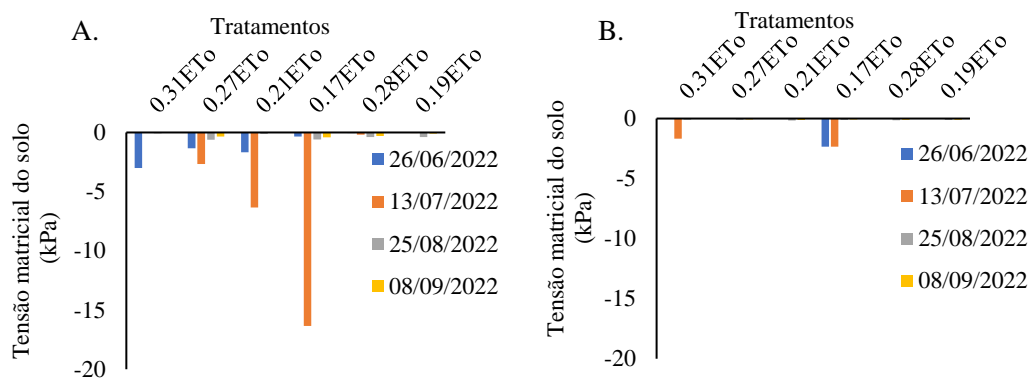


Figura 11 – Tensão matricial do solo nos tratamentos com variação de oferta de água à profundidade de 0,15 m (A) e 0,50 m (B)

O potencial mátrico da água no solo de -16,33 kPa, à profundidade de 0,15 m (Figura 11-A), no tratamento com menor oferta de água foi a mais elevada observada ao longo do experimento. No entanto, não alcançou -20 kPa que é o limite no qual, quando submetido em períodos críticos de florescimento e frutificação, pode causar danos à produção (Staveley; Wolstenholme, 1990). Carvalho et al. (2010) observaram que o manejo da irrigação com redução da tensão até 60 kPa à profundidade de 20 cm não afeta a produção em pomar de maracujazeiro irrigado por gotejamento e em condição de solo com mais de 70% de argila, classificado como muito argiloso.

Em condição de ambiente protegido, solo franco arenoso e sistema de irrigação por gotejamento, Freitas (2019) observou declínio na produtividade quando adotada a faixa de potencial mátrico do solo entre -22 a -60 kPa, variando de 12,51 a 5,64 t ha⁻¹.

À profundidade de 0,50 m, nota-se que a tensão se manteve sempre com valores inferiores a -5 kPa devido à alta concentração de argila nesta profundidade (Tabela 01). Um outro fato que pode ser atribuído é que pode ter ocorrido percolação profunda em todos os tratamentos, haja vista que a profundidade efetiva do sistema radicular é de 0,40 m (Souza et al., 2002) como é possível ser evidenciado na Figura 07.

Vale ressaltar que a irrigação demasiada promove a percolação profunda da água carreando fertilizantes que podem contaminar as fontes de água. Nos EUA, por exemplo, 50% do comprimento dos rios se encontram contaminados sobretudo pela atividade agrícola (Vörösmarty et al., 2010).

Assim, além do desperdício de água que promove o maior tempo de funcionamento do bombeamento da irrigação e, conseqüentemente da energia, pode haver também um custo adicional de fertilizantes que são lixiviados para as camadas mais profundas.

Devido ao aumento populacional e aos efeitos das mudanças climáticas, a demanda por recursos hídricos está aumentando, especialmente no setor agrícola para a produção de alimentos (Rockstrom et al., 2017). Para enfrentar esse desafio, é essencial adotar estratégias que permitam produzir alimentos com um menor consumo de água.

Caso ocorra escassez de água, a pressão da população para o uso racional desse recurso pode se intensificar, o que pode resultar em mudanças na política de preços da água. Nesse cenário, a água pode se tornar uma importante fonte de custo para a produção de alimentos. Portanto, é crucial implementar práticas sustentáveis de gestão da água na agricultura, como o uso eficiente de irrigação, adoção de técnicas de conservação da água e a busca por cultivos mais resistentes à seca, a fim de garantir a segurança alimentar e minimizar os impactos econômicos causados pela escassez hídrica.

Levando em consideração uma eletrobomba de 20 cavalos de potência (cv) para irrigar 1 hectare, utilizando um sistema de gotejamento com uma vazão de 4,0 L h⁻¹, calculou-se o custo de energia elétrica necessário para suprir o volume total de água aplicado nos diferentes tratamentos, conforme indicado na Tabela 08. A partir do volume máximo utilizado (4.696 m³ ha⁻¹) no tratamento 0,63ET₀, esse valor foi adotado como base para determinar a área que poderia ser irrigada de acordo com os demais tratamentos.

Tabela 08 – Principais custos envolvidos na irrigação (Tarifa de Energia (TE)+Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TSUD) e de volume de água) em função do volume total aplicado aos tratamentos ao longo dos ciclos, com cálculo das horas de funcionamento da bomba considerando a vazão dos emissores de 4,0 L h⁻¹, preço do quilo de maracujazeiro categoria 4 de R\$ 8,43 kg⁻¹ e preço sombra da água inferior (R\$ 0,15 m⁻³) e superior (R\$ 1,20 m⁻³) obtidos por Licks (2020).

Tratamento	Cobertura do solo	Ano	Volume (m ³ ha ⁻¹)	HFB (h)	CEE (kWh)	TE + TSUD	Produção (t ha ⁻¹)	RB (R\$)	RL		Área (ha)	RB (R\$)
									R\$ 0,155 m ⁻³	R\$ 1,20 m ⁻³		
0,63ETo	Sem	2021	4.696	587	17.270	9.317	33,0	278.230	268.186	263.278	1,00	278.230
0,36ETo	Sem	2021	2.694	337	9.909	5.346	31,4	264.553	258.789	255.974	1,74	461.082
0,31ETo	Sem	2022	2.664	333	9.797	5.285	30,9	260.402	254.704	251.920	1,76	459.027
0,27ETo	Sem	2022	2.258	282	8.302	4.479	29,6	249.397	244.568	242.209	2,08	518.767
0,21ETo	Sem	2022	1.800	225	6.621	3.572	34,2	288.300	284.449	282.567	2,61	751.975
0,17ETo	Sem	2022	1.445	181	5.313	2.866	25,6	216.106	213.015	211.506	3,25	702.404
0,28ETo	Com	2022	2.360	295	8.679	4.682	27,1	228.115	223.067	220.601	1,99	453.911
0,19ETo	Com	2022	1.626	203	5.978	3.225	25,2	212.663	209.186	207.487	2,89	614.337

HFB – horas de funcionamento da bomba; CC – Com Cobertura; CE – consumo de energia elétrica; TE unitário de R\$ 0,3908 e TUSD unitário de R\$ 0,6882, valores da Coelba de abril de 2023; RL – receita líquida; RB – receita bruta.

Com a variação de tempo de funcionamento do conjunto moto-bomba, o consumo de energia elétrica variou de 5.313 a 17.270 kWh entre os tratamentos com vazão de 0,17ETo e 0,63ETo, nos anos de 2022 e 2021, respectivamente. É possível verificar que, nestes mesmos tratamentos, há uma variação no custo de energia elétrica entre R\$ 2.866,00 e R\$ 9.317,00.

Mesmo não ocorrendo diferença significativa na produção, optou-se por utilizar a produção de cada tratamento para o cálculo da receita. Ao comparar os tratamentos extremos (0,63 e 0,17ETo), percebe-se que a redução de 69% do volume aplicado promove uma redução da receita bruta na ordem de 22%, partindo de R\$ 278.230,00 a R\$ 216.106,00.

Quando é avaliada a receita líquida, em função do consumo de energia elétrica e preço sombra da água de R\$ 0,55 e 1,2 por metro cúbico de água, percebe-se há uma baixa variação neste valor. Enquanto há uma perda da RB na ordem de 22%, a redução do volume de água nos tratamentos só ameniza essa redução para 20,6% e de 19,7% quando é utilizado o preço sombra da água de R\$ 0,55 e 1,20 m⁻³, respectivamente.

Essa variação está mais atrelada à diferença na produção de frutos do que nos custos de energia elétrica e água, pois, atualmente, o direito de uso da água por tempo determinado é concedido por meio da outorga com base na Lei n.º 9.433/97 (“Lei das Águas”). O custo envolvido ao uso da água geralmente se limita ao processo de bombeamento e pressurização dos sistemas de distribuição.

Quando é fixado o volume de água disponível (4.696 m³) para estimar a área que poderia ser irrigada, percebe-se uma maior variação da receita bruta. O uso desse volume para produção uma área de 1 hectare promove uma receita bruta de R\$ 278.230,00. Quando o volume é reduzido (na ordem de 69% entre 0,63ETo a 0,17ETo) e, conseqüentemente, aumenta-se a área produtora, a receita bruta pode chegar a R\$ 702.404,00, ou seja, 152% a mais.

Quando são comparados os tratamentos de 0,31ETo e 0,17ETo, desenvolvidos em 2022, há uma redução na ordem de 46% do volume de água usado para a irrigação do pomar. O incremento proporcionado à receita bruta pelo aumento da área é de 53%, passando de 1,76 para 3,25 hectares.

Assim, percebe-se que a maior vantagem obtida na redução da lâmina aplicada é na expansão da área agricultável, uma vez que, mesmo em condições de precificação da água, o impacto na receita líquida é muito pequeno.

Ressalta-se que, no cálculo completo da receita líquida, deve-se incorporar custos que dependem diretamente da irrigação e também daqueles que envolvem a produção, como fertilizantes, colheita e até mesmo do capital investido para o sistema de derivação da água e do próprio sistema de irrigação (Frizzone, 2007), o que não foi realizado no presente estudo.

Além da potencial redução de custos quando aplicada uma lâmina reduzida, existe uma pressão ao setor agrícola pela melhoria da irrigação, na gestão e armazenamento de água na fazenda, da conservação da umidade do solo visando a segurança hídrica (IPCC, 2023).

CONCLUSÕES

O uso do protetor solar e da cobertura do solo não promoveram efeito significativo na produção e qualidade de frutos de maracujazeiro.

Os tipos de propagação das plantas controle e enxertia apresentaram massa da polpa superior aos demais.

Os resultados obtidos no ano de 2021, com redução da oferta de água de 4.696 a 2.694 m³ ha⁻¹, sem impactos à produção de frutos de maracujazeiro, permitiram adoção de menores lâminas no ano de 2022.

Considerando todos os tratamentos com variação do volume de água aplicado às plantas (ano de 2021 e 2022), a redução do volume de água na ordem de 62% promove aumento da produtividade do uso da água em 170%, variando de 7,03 a 18,99 kg m⁻³.

A adoção do manejo de irrigação com lâminas menores possibilita a expansão da área irrigada e, conseqüentemente, da receita bruta podendo chegar a 152%. Quando comparado os manejos adotados em 2022, esse incremento é de 53%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. S.; ZACCHEO, P. V. C.; STENZEL, N. M. C.; SERA, T.; NEVES, C. S. V. J. Produção e qualidade de frutos híbridos de maracujazeiro-amarelo no norte do paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 130-137, 2015.

ALMEIDA, L. P.; BOARETTO, M. A. C.; SANTANA, R. G. Estaquia e comportamento de maracujazeiros (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener) propagados por via sexual e vegetativa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 13, n. 1, p. 157-159, 1991.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. K ppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

ARAUJO NETO, S. E.; RAMOS, J. D.; ANDRADE JUNIOR, V. C.; RUFINI, J. C. M.; MENDONÇA, V.; OLIVEIRA, T. K. Adensamento, desbaste e análise econ mica na produ o do Maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 3, p. 394-398, 2005.

BOARI, F.; DONADIO, A.; SCHIATTONE, M. I.; CANTORE, V. Particle film technology: A supplemental tool to save water. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 154-162, 2015.

CAMPOS, V. B.; CAVALCANTE, L. F.; DANTAS, T. A. G.; MOTA, J. K. M.; RODRIGUES, A. C.; DINIZ, A. A. Caracteriza o física e química de frutos de maracujazeiro amarelo sob aduba o potássica, biofertilizante e cobertura morta. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 1, p. 59-71, 2007.

CARVALHO, J. A.; KOETZ, M.; SOUSA, A. M. G.; SOUZA, K. J. Desenvolvimento e produtividade do maracujazeiro-amarelo irrigado sob diferentes lâminas de irriga o em ambiente protegido e natural. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p.862-874, 2010.

COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N.; VENTURA, J. A.; FANTON, C. J.; LIMA, I. M.; CAETANO, L. C. S.; SANTANA, E. N. **Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro**. Incaper, Vitória-ES, 2008, 56p.

DUTRA, A. F.; MELO, A. S.; BRITO, M. E.; SUASSUNA, J. F.; DUTRA, W. F. Photochemical and productive performance of yellow passion fruit irrigated in the Brazilian semiarid. **Engenharia Agrícola**, v. 38, p. 901–909, 2018.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, and WHO In **Brief to The State of Food Security and Nutrition in the World**, 2021, 260p.

FARIAS, J. F.; SILVA, L.; J. B.; ARAUJO NETO, S. E., MENDONÇA, V. Qualidade do maracujá-amarelo comercializado em Rio Branco, Acre. **Caatinga**, v. 20, n. 3, p. 196-202, 2007.

FERNANDES, J. E.; ALCON, F.; DIAZ-ESPEJO, A.; HERNANDEZ-SANTANA, V.; CUEVAS, M. V. 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**, v. 237, p.1-13, 2020.

FERREIRA, M. O.; ANTUNES, A. M. Qualidade de frutos de maracujá amarelo comercializados na CEAGESP-Bauru-SP, **Revista Agrofib**, v. 1, n. 1, p. 71-84, 2019.

FISCHER, G.; MELGAREJO, L. M.; CUTLER, J. Pre-harvest factors that influence the quality of passion fruit: A review. **Agronomía Colombiana**, v. 36, n. 3, p. 217-226, 2018.

FISHMAN, R.; DEVINENI, N.; RAMAN, S. Can improved agricultural water use efficiency save India's groundwater? **Environmental Research Letters**, v. 10, p. 1-10, 2015.

FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U. **Maracujá. Pós-colheita**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002, 51p.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização.

Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 1, n. 1, p. 24-49, 2007.

IBGE. **Produção de maracujá**. 2023. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acesso em 20 de abril de 2023.

IPCC. **Sixth Assessment Report (AR6)**, 2023. Disponível em:<

https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf>. Acesso em 19 de abril de 2023.

JUNQUEIRA, N. T. V.; LAGE, D. A.; BRAGA, M. F.; PEIXOTO, J. R.; BORGES, T. A.; ANDRADE, S. R. M. Reação a doenças e produtividade de um clone de maracujazeiro-azedo propagado por estaquia e enxertia em estacas herbáceas de *Passiflora silvestre*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p. 97–100, 2006.

KOECH, R.; LANGAT, P. Improving irrigation water use efficiency: a review of advances, challenges and opportunities in the australian contexto. **Water**, v. 10, p. 1-17, 2018.

LICKS, E. B. Viabilidade de irrigação para a produção de cana-de-açúcar nos municípios de Araçatuba e Piracicaba. Tese (Doutorado). Curso de Economia Aplicada. USP – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

LUCIANI, L.; PALLIOTTI, A.; FRIONI, T.; TOMBESI, S.; VILLA, F.; ZADRA, C.; FARINELLI, D. Kaolin treatments on Tonda Giffoni hazelnut (*Corylus avellana* L.) for the control of heat stress damages. **Scientia Horticulturae**, v.263, p1-7, 2020.

QURESHI, M. E.; GRAFTON, R. Q.; KIRBY, M.; HANJRA, M. A. Understanding irrigation water use efficiency at different scales for better policy reform: A case study of the Murray-Darling Basin, Australia. **Water Policy**, v. 13, p. 1–17, 2011.

RESENDE FILHO, M. A.; ARAÚJO, F. A.; SILVA, A. S.; BARROS, E. S. Precificação da Água e Eficiência Técnica em Perímetros Irrigados: Uma Aplicação da Função Insumo Distância Paramétrica. **Estudos econômicos**, v. 41, n. 1, p. 143-172, 2011.

ROCKSTRÖM, J.; WILLIAMS, J.; DAILY, G.; NOBLE, A.; MATTHEWS, N.; GORDON, L.; WETTERSTRAND, H.; DECLERCK, F.; SHAH, M.; STEDUTO, P.; FRAITURE, C.; HATIBU, N.; UNVER, O.; BIRD, J.; SIBANDA, L.; SMITH, J. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. **Ambio**. v. 46, p. 4–17, 2017.

RODRÍGUEZ-YZQUIERDO, G. A.; BASSO-DE-FIGUERA, C. A.; REYES, G. D.; LEÓN-PACHECO, R. I. Riego deficitario controlado su efecto sobre la nutrición, productividad y calidad de fruta en maracuyá. **Agronomía Mesoamericana**, v. 31, n. 2, p. 405-418, 2020.

SANTOS, M. R.; LOURENÇO, L. L.; DONATO, S. L. R.; SILVA, B. L. CASTRO, I. N.; COELHO FILHO, M. A. Root system distribution and vegetative characteristics of Prata type bananas under different irrigation strategies. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3806-3815, 2016.

SOUSA, V. F.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO FILHO, M. A.; FRIZZONE, J. A. Distribuição radicular Distribuição radicular do maracujazeiro sob diferentes do maracujazeiro sob diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 51-56, 2002.

SOUSA, V. F.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. L.; ELOI, W. M. Produtividade do maracujazeiro sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio via fertirrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 4.; p. 497-504, 2003.

SOUSA, V. F.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V.; VIANA, T. V. A. Eficiência do uso da água pelo maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 302-306, 2005.

VEIMROBER JUNIOR, L. A. A.; SILVA, A. J. P.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, F. A. L.; SILVA, M. G.; VELLAME, L. M. Water productivity of passion fruit under different forms of propagation and soil-based irrigation management criteria. **Irrigation Science**, v. 40, p. 423-433, 2022.

VENANCIO, J. B.; RODRIGUES, E. T.; SILVEIRA, M. V.; ARAÚJO, W. F.; CHAGAS, E. A.; CASTRO, A. M. Produção, qualidade dos frutos e teores de nitrogênio foliar em maracujazeiro-amarelo sob adubação nitrogenada. **Científica**, v. 41, n. 1, p. 11-20, 2013.

VÖRÖSMARTY, C. J.; MCINTYRE, P. B.; GESSNER, M. O.; DUDGEON, D.; PRUSEVICH, A.; GREEN, P.; GLIDDEN, S.; BUNN, S. E.; SULLIVAN, C. A.; REIDY LIERMANN, C.; DAVIES, P. M. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, p. 555–561, 2010.

WANG, X.; MÜLLER, C.; ELLIOT, J.; MUELLER, N. D.; CIAIS, P.; JÄGERMEYR, J.; GERBER, J.; DUMAS, P.; WANG, C.; YANG, H.; LI, L.; DERYNG, D.; FOLBERTH, C.; LIU, W.; MAKOWSKI, D.; OLIN, S.; PUGH, T. A. M.; REDDY, A.; SCHMID, E.; JEONG, S.; ZHOU, F.; PIAO, S. Global irrigation contribution to wheat and maize yield. **Nature Communications**, v. 12, n. 1235, p. 1-8, 2021.

ZHANG, X.; YANG, L.; XUE, X.; KAMRAN, M.; AHMAD, I.; DONG, Z.; LIU, T, JIA, Z. ZHANG, P., HAN, Q. Plastic film mulching stimulates soil wet-dry alternation and stomatal behavior to improve maize yield and resource use efficiency in a semi-arid region. **Field Crops Research**, v. 233, p. 101-113, 2019.

CAPÍTULO II

**ESCOLHA DO ALFA NA DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE CALOR
SENSÍVEL UTILIZANDO RENOVAÇÃO DO AR NA SUPERFÍCIE E
DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DO MARACUJAZEIRO
UTILIZANDO BALANÇO DE ENERGIA**

Escolha do alfa na determinação do fluxo de calor sensível utilizando renovação do ar na superfície e determinação da demanda hídrica do maracujazeiro utilizando balanço de energia

Iumi da Silva Toyosumi¹, Maurício Antônio Coelho Filho², Tibério Santos Martins da Silva² Áureo Silva de Oliveira¹ Neilon Duarte da Silva³

¹Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/Núcleo de Engenharia de Água e Solo, R. Rui Barbosa, n. 710 – 44380-000 – Cruz das Almas, BA – Brasil.

²Embrapa Mandioca e Fruticultura, R. Embrapa, s/n, C.P.007 – 44380-000 – Cruz das Almas, BA – Brasil.

³Instituto Federal do Pará, Av. João Paulo II, 514 - 66645-240 - Belém, Pará – Brasil.

RESUMO

A determinação da demanda hídrica da cultura é fundamental para o manejo da irrigação. Obtendo-se a radiação líquida (R_n) e os fluxos de calor no solo (G) e sensível (H), é possível determinar o fluxo de calor latente (LE) como resíduo do balanço de energia. Uma forma que requer menos instrumentos para a obtenção de H , é utilizando o método de renovação do ar na superfície. Neste estudo, a escolha do coeficiente alfa na determinação do fluxo de calor sensível utilizando o método de renovação do ar na superfície e a determinação da demanda hídrica do maracujazeiro foram explorados. O objetivo foi aplicar essa abordagem específica para estimar a demanda hídrica na cultura do maracujazeiro sob sistema de irrigação por gotejamento. Sensores meteorológicos para determinação de H pelo método, considerado padrão, de covariação turbulenta (CT) e por renovação do ar na superfície (RAS) foram instalados em um pomar de maracujazeiro BGP-418 aos 52 dias após o transplante, na região Sudoeste da Bahia. Para comparação dos métodos, utilizou-se o R^2 e raiz quadrada do erro médio ($RMSE$). A partir da inclinação da reta obtida por H_{RAS} e H_{CT} , determinou-se alfas nas diferentes condições de atmosfera, médio (todos os dados) e mensal. Analisou-se a partição dos componentes do balanço de energia e determinou-se a demanda hídrica da cultura. O $RMSE$ utilizando alfa para atmosfera estável (0,5993) no processo de calibração é de $8,12 \text{ W m}^{-2}$, enquanto para atmosfera instável (0,9698) de $27,13 \text{ W m}^{-2}$. O $RMSE$ obtido comparando-se todo o conjunto de dados entre HEC e H não calibrado, é de $29,94 \text{ W m}^{-2}$. Após o processo de

calibração, utilizando-se alfa de 0,9461, o RMSE sofre pouca alteração (29,55 W m⁻²). As medidas de alfa mensais mostram que há redução do seu valor com o incremento da área foliar. Nas condições de irrigação empírica praticada na propriedade, houve um excedente de água aplicada na ordem de 21%. O menor RMSE da evapotranspiração da cultura do maracujazeiro foi obtido utilizando-se alfas mensais (0,3164 mm dia⁻¹).

Palavras-chave: coeficiente de cultivo, *Passiflora edulis*, covariância turbulenta.

ABSTRACT

The determination of the water demand of the crop is crucial for irrigation management. By obtaining net radiation (R_n) and soil heat (G) and sensible heat (H) fluxes, it is possible to determine the latent heat flux (LE) as the residual of the energy balance. One method that requires fewer instruments for obtaining H is using the surface air renewal method. In this study, the choice of the alpha coefficient in determining the sensible heat flux using the surface air renewal method and the determination of the water demand of the passion fruit crop were explored. The objective was to apply this specific approach to estimate the water demand in passion fruit cultivation under drip irrigation. Meteorological sensors for determining H by the standard method of turbulent covariance (CT) and surface air renewal (RAS) were installed in a BGP-418 passion fruit orchard 52 days after transplanting in the Southwest region of Bahia. For method comparison, R² and root mean square error (RMSE) were used. Based on the slope of the line obtained by HRAS and HCT, alphas were determined under different atmospheric conditions, both on average (all data) and monthly. The partitioning of the energy balance components was analyzed, and the water demand of the crop was determined. The RMSE using alpha for stable atmosphere (0.5993) in the calibration process is 8.12 W m⁻², while for unstable atmosphere (0.9698), it is 27.13 W m⁻². The RMSE obtained when comparing the entire dataset between calibrated HEC and uncalibrated H is 29.94 W m⁻². After the calibration process, using an alpha of 0.9461, the RMSE undergoes minimal change (29.55 W m⁻²). Monthly alpha values indicate a decrease with increasing leaf area. Under the empirical irrigation conditions practiced on the property, there was an excess of applied water amounting to 21%. The lowest RMSE for passion fruit crop evapotranspiration was obtained using monthly alphas (0.3164 mm day⁻¹).

Keywords: Crop coefficient, *Passiflora edulis*, turbulent covariance.

INTRODUÇÃO

Na cultura do maracujazeiro, o uso da irrigação, sobretudo em regiões áridas e semiáridas, é imprescindível para garantir uma alta produtividade (SOUSA et al., 2005). Com a utilização de 70% da água potável do Mundo, o setor agrícola sofre uma pressão para que haja uma melhor gestão do recurso hídrico em virtude do exponencial crescimento populacional (Wang et al., 2021).

O uso sustentável da água na agricultura parte da correta estimativa da demanda hídrica da cultura, aliada a tecnologias que possibilitem aumentar a produtividade por volume de água (FAO, 2022), como sistemas de irrigação localizado.

Com maior praticidade ao produtor, o coeficiente da cultura (K_c) pode ser utilizado para subsidiar o manejo adequado da irrigação. Segundo Allen et al. (1998), o K_c é determinado a partir da relação entre a evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) e a de referência (E_{To}) e é influenciado por diversos fatores como clima, estágio de desenvolvimento, dossel e manejo adotado à cultura.

A evapotranspiração, por sua vez, representa a mudança de estado físico da água, de líquido para vapor e é constituído pelo somatório da água de irrigação e chuva utilizado pela planta no processo de transpiração e a evaporação do solo (HU et al., 2018). A determinação da demanda hídrica da cultura ou densidade de fluxo de calor latente (LE) pode ser realizada a partir dos componentes do balanço de energia (Equação 01).

$$LE = Rn - G - H \quad (01)$$

Em que: LE -densidade de fluxo de calor latente; G – densidade de fluxo de calor no solo e H – densidade de fluxo de calor sensível.

Diferentes métodos são utilizados para a determinação da E_{Tc} , como a razão de Bowen, uso de lisímetro de pesagem e covariância de turbilhão ou turbulenta (CT). Atualmente, a covariância de turbilhão é considerada um método confiável na determinação de fluxo de calor sensível e latente (Castelví et al., 2008). Neste método, obtém-se o fluxo de energia sensível e/ou latente a partir de medidas diretas de flutuações de vapor de água, temperatura e velocidade tridimensional do vento na camada limite da atmosfera (Lu et al., 2019). Além do sensor de temperatura, é necessária a utilização de anemômetro sônico, o que inviabiliza o seu uso diante do alto custo de aquisição (Costa-Filho et al., 2021; Zheng et al., 2023).

Paw U et al. (1995) desenvolveram um método para estimativa de fluxos escalares por eles denominado de análise de renovação de superfície (*Surface renewal analysis*). A partir de dados de temperatura do ar, os autores obtiveram sucesso com a aplicação do método na cultura do milho, pomar e floresta e podendo ser utilizado, inclusive, em condição de atmosfera estável, ou seja, quando o fluxo de calor sensível é inferior a zero ($H < 0$).

A teoria do método de renovação do ar na superfície (RAS) é baseada na substituição de uma parcela de ar através do processo de troca de turbulência (PAW U et al., 1995). Segundo Snyder et al. (1996), essa parcela de ar se espalha de cima para a superfície e é aquecida ou resfriada por meio da troca de calor entre o ar e o dossel das plantas. Em seguida, essa parcela é ejetada da superfície e uma nova parcela a substitui. Esses eventos ocorrem em frações de segundos e são necessárias medidas de temperatura de alta frequência para obtenção de um padrão de rampas, cuja amplitude e frequência são utilizados na determinação do H.

No entanto, é essencial realizar a calibração usando um método de referência confiável, como a covariância de turbulência (Snyder et al., 1996). Através da regressão forçada ao eixo entre o H obtido pelo método de renovação da superfície e o H obtido pela covariância de turbulência, podemos determinar o coeficiente alfa (Duce et al., 1997). Esse alfa representa a correção do aquecimento desigual abaixo do sensor de medida de temperatura, assim, quando o alfa é próximo a 1, isso significa que o aquecimento se dá de forma uniforme, (Duce et al., 1997; snyder et al., 1997; Spano et al., 1997).

Os valores de alfa se mostram variáveis (Paw U et al., 2005; Snyder et al., 1996; Spano et al., 1997), indicando que a calibração também é influenciada por outros processos físicos, além da uniformidade de aquecimento, como a advecção em microescala e características de resposta de frequência do senso (Paw U et al., 1995).

Numa revisão mais recente, Hu et al. (2018) indicam que o valor de alfa depende da altura de instalação do instrumento de medição, altura e arquitetura do dossel, estabilidade atmosférica, características de turbulência e ainda, características de resposta do sensor.

Embora se pensasse que alfa não variava em função da condição hídrica e climática (Snyder et al., 2008), Hu et al. (2023) encontraram alfa distinto para as estações

do ano, sendo de 1,52 para a primavera, 0,82 no verão, 1,12 no outono e de 1,31 no inverno. Esse estudo foi desenvolvido num campo de chá cultivado em clima subtropical moderado, frequência de aquisição de dados de 10 Hz e altura de medição de 1,2 m que correspondeu à altura da copa da cultura.

Considerando que o alfa é variável, objetivou-se com esta pesquisa determiná-lo em diferentes condições e épocas. Coeficientes de cultivo mensais foram estimados visando a fácil disseminação da sua aplicação no manejo da irrigação por parte dos produtores. Além disso, visando maior conscientização na otimização da água, comparou-se o volume de água aplicado e o necessário para a cultura do maracujazeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

O experimento foi desenvolvido no Sítio Fagundes, na coordenada geográfica de latitude 13°54'34.2" Sul, longitude 41°43'13.1" Oeste e altitude de 473,37 m, município de Dom Basílio. O clima da região é semiárido, classificado como BSwH. Segundo os dados da estação meteorológica do INMET de Brumado, a cerca de 40 km do experimento, a média anual de precipitação é de 540 mm, umidade relativa de 60,4% e temperatura média de 25,2 °C com máxima de 32,0 °C e mínima de 19,8 °C.

O pomar de maracujazeiro BGP-418 apresenta espaçamento de 5 x 1 m, o que totaliza uma densidade de 2.000 plantas por hectare. O plantio na propriedade era dividido em quatro unidades de irrigação com dimensões de 85 x 140 m, totalizando uma área produtiva de 4,76 ha.

O sistema de irrigação utilizado foi do tipo localizado, com gotejadores espaçados a 0,5 m e vazão de 4,0 L h⁻¹. O plantio foi realizado em 10 de abril de 2022, utilizando-se mudas com aproximadamente 45 dias. Instalou-se duas espaldeiras espaçadas a 1,0 m da linha de plantio, ou seja, 2,0 m entre cada uma. As plantas foram então conduzidas de forma intercaladas, uma planta para um sentido e a seguinte para o sentido contrário. Desta forma, cada planta podia expandir sua cortina de produção até 2,0 m.

A camada do solo de 0 - 0,10 m, profundidade na qual os sensores de fluxo no calor no solo foram instalados, conforme será detalhado posteriormente, foi classificada como franco argilo arenoso, cujas características físicas são apresentadas na Tabela 01.

Tabela 01 – Análise química e física do solo da Fazenda Fagundes – Dom Basílio, Bahia.

Atributos químicos do solo													
Profundidade (cm)	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Ca+Mg cmol _c dm ⁻³	Al	Na	H+Al	SB	CTC %	V	MO g kg ⁻¹
0-20	4,9	40	0,31	6,38	2,66	9,04	0,4	0,29	3,07	9,64	12,71	76	10,0
20-40	4,5	4	0,37	4,46	2,77	7,23	1,0	0,42	4,17	8,01	12,18	66	4,0
Atributos físicos do solo													
Profundidade (cm)	AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	Silte	Argila	Ds g cm ⁻³	Textura			
0-10	15	56	36	370	87	563	188	250	1,53	Franco argilo arenoso			
10-20	11	53	26	357	104	550	155	296	1,57	Franco argilo arenoso			
20-30	12	50	24	321	93	499	140	361	1,56	Argila arenosa			
30-40	10	43	64	218	75	408	136	456	1,50	Argila			
40-50	13	42	26	211	59	350	152	499	1,48	Argila			

AMG – areia muito grossa; AG – areia grossa; AM – areia média; AF – areia fina; AMF – areia muito fina; AT – areia total, Ds – densidade do solo e Dp – densidade de partículas.

Instalação dos sensores

Embora o plantio tenha sido realizado em 10 de abril de 2022, os dados foram coletados a partir do dia 03 de junho de 2022 até o dia 13 de novembro do mesmo ano. Uma estação meteorológica automática foi instalada, dividindo-se os sensores em duas torres, observando-se a direção predominante do vento. A instalação e manutenção seguiram recomendação de McElrone et al. (2013). Escolheu-se posicioná-la numa área cujo menor raio foi de 45 m, enquanto a bordadura em direção contrária ao vento (predominância sudeste) era superior a 300 m.

Utilizou-se o anemômetro sônico 3D modelo 81000 (RM Young, Michigan, PAI) para a medição tridimensional da velocidade do vento e temperatura do sônico, instalado a 3,0 m de altura e o termopar ultrafino modelo FW3 de 76 μm (Campbell Scientific, Utah, PAI) para a aquisição da temperatura do ar, instalado a 2,4 m de altura, sendo estes dois sensores de resposta rápida (Figura 01).

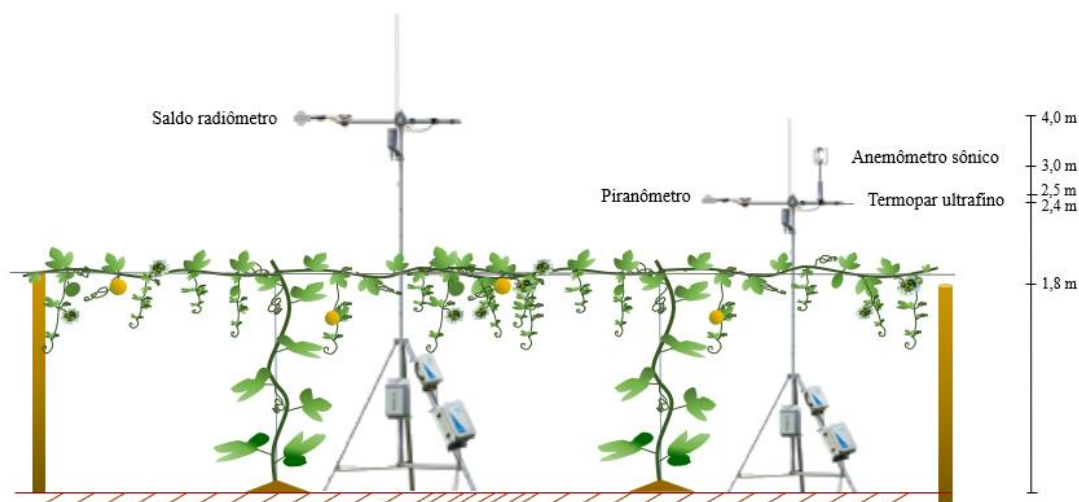


Figura 01 – Posicionamento dos sensores acima do solo.

Já os sensores de resposta lenta foram: o saldo radiômetro, modelo NRLite (Kipp & Zonen, Delft, Holanda), responsável pela aquisição da radiação líquida (R_n) e instalado a 4,0 m; o piranômetro, modelo SPLite (Kipp & Zonen, Delft, Holanda), para medição da radiação solar a 2,5 m de altura; placas de fluxo de calor no solo (G), modelo HFP01, (Hukseflux, Delft, Holanda) cujas medidas foram realizadas a 0,08 m de profundidade e estimadas para a superfícies e termopares de solo, modelo TCAV (Campbell Scientific, Utah, PAI), instalados a 0,02 e 0,06 m de profundidade com a finalidade de mensurar a temperatura do solo próximo às placas de G .

A frequência de coleta de dados dos sensores de resposta rápida é de 10 leituras por segundo (10 Hz), enquanto os sensores de resposta lenta, uma leitura a cada 5

segundos. Todavia, todos os dados foram resumidos em intervalos de 30 minutos, totalizando 6.418 observações. O código com a programação utilizado no datalogger para a obtenção dos dados foi disponibilizado por Richard Snyder, que foi utilizado em Shapland et al. (2013) e adaptado por Silva (2021).

Radiação líquida (Rn)

A radiação líquida (Rn) foi obtida utilizando-se um saldo radiômetro instalado a 4,0 m de altura.

Fluxo de calor no solo (G)

O fluxo de calor no solo (G) médio foi obtido a partir dos valores na linha de plantio e na entrelinha (2,5 m da planta) instalando-se sensores do tipo placa de fluxo de calor a 0,08 m.

Termopares foram instalados acima das placas, sendo dois por placa, instalados a 0,03 e 0,06 m (Figura 02).

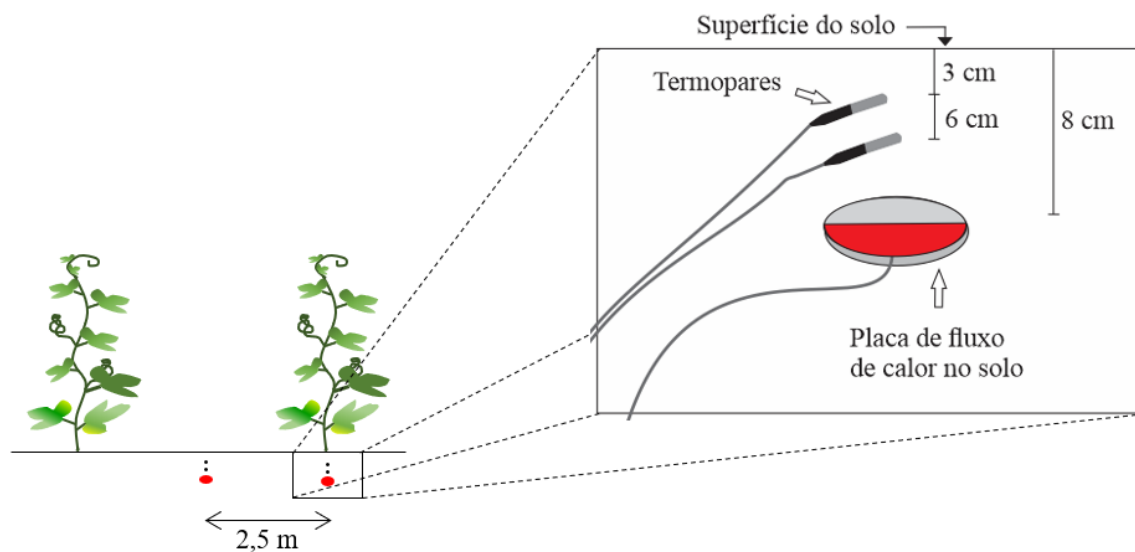


Figura 02 – Posicionamento dos sensores de solo (placas de fluxo de calor no solo e termopares) na linha e na entrelinha.

Dessa forma, o fluxo de calor no solo era obtido à profundidade de 0,08 m e, posteriormente, estimado para a superfície do solo por meio da equação 02, proposta por Kustas et al. (2000).

$$G = G_8 + C_s \left(\frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta t} \right) Z_s \quad (02)$$

Em que: G – fluxo de calor do solo na superfície (W m^{-2}); G_8 – fluxo de calor no solo à profundidade de 0,08 m (W m^{-2}); C_S – capacidade calórica do solo ($\text{MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$); T_i – temperatura média do solo no instante i ($^\circ\text{C}$); T_{i-1} – temperatura média do solo no instante anterior ($^\circ\text{C}$); Δt – variação do tempo (3.600 segundos) e; Z_S – profundidade de instalação da placa (m).

A capacidade calórica do solo foi determinada conforme a Equação 03.

$$C_S = d_s \left(\frac{2,01 m_m}{2,65 m_S} + \frac{2,51 m_o}{1,30 m_S} \right) + 4,19 \theta_v \quad (03)$$

Em que: d_s – densidade do solo (g cm^{-3}); m_m – massa do material mineral (g); m_o – massa do material orgânico (g); m_s – massa do solo seco (g) e; θ_v – umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

Como o sistema de irrigação é do tipo gotejamento e havia uma alta intensidade de irrigação, a linha era caracterizada por apresentar alta umidade em faixa contínua durante todo o período experimental, com valores de tensão média de 6 kPa que corresponde a $0,4448 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Já a entrelinha era mantida sem umidade, com a camada superficial totalmente desestruturada em virtude do preparo do solo e ausência de chuvas. Coletas de solo foram obtidas ao longo do tempo para determinação da umidade gravimétrica e convertidas para umidade volumétrica (Equação 04).

$$\theta_v = \theta_g d_s \quad (04)$$

Em que: θ_g – umidade gravimétrica (g g^{-1}).

Fluxo de calor sensível (H)

O método de covariância foi utilizado como método padrão na determinação do fator de correção (α) utilizado na correção do fluxo de calor sensível pelo método de renovação do ar na superfície (H_{RAS}).

Fluxo de calor sensível pelo método de Covariância turbulenta (H_{CT})

A determinação do fluxo de calor sensível pelo método de Covariância Turbulenta foi realizada conforme a Equação 05.

$$H_{CT} = \rho C_p \overline{w'T'} \quad (05)$$

Em que: H_{CT} – fluxo de calor sensível (W m^{-2}) obtido pelo método de Covariância Turbulenta; ρ – densidade do ar (kg m^{-3}); C_p – calor específico do ar sob pressão constante ($\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$); w' – desvio instantâneo da velocidade vertical do vento em torno da média

(m s⁻¹); T' – desvio instantâneo da temperatura do anemômetro sônico em torno da média (°C).

Nota-se que o método necessita do anemômetro ultrassônico e termopar ultrafino.

Fluxo de calor sensível pelo método de Renovação do ar na Superfície (H_{RAS})

Este método pressupõe que a parcela de ar em contato com a vegetação forma rampas de temperatura. O ar atmosférico entra em contato com a vegetação como uma dada temperatura. Quando o ar apresenta temperatura inferior à temperatura da vegetação, há uma transferência de energia de forma que o ar é aquecido. Esta porção de ar aquecido é rapidamente substituído por ar mais denso e frio. Neste momento, ocorre uma queda na temperatura e o ciclo é reiniciado.

Vale salientar que H é positivo quando o calor é transferido da vegetação para o ar. Em situação contrária, o H é negativo e o ar se apresenta estável.

Na obtenção do H neste método, além da densidade do ar e do calor específico do ar à pressão constante, são necessários a determinação de parâmetros que caracterizam as rampas de temperatura. O quanto a temperatura se eleva ou reduz após o instante “zero” representa a amplitude da rampa, enquanto o tempo em que o ar permanece em uma mesma temperatura (s) e aumenta ou reduz a temperatura até que ocorra a substituição por uma nova porção de ar (d) constituem a frequência da rampa. De posse desses dados, o H não corrigido (H') é obtido conforme a Equação 06.

$$H' = \left[\rho C_p \frac{A}{d+s} z \right] \quad (06)$$

Em que: H' – calor sensível não calibrado (W m⁻²); ρ – densidade do ar (kg m⁻³); C_p – calor específico do ar sob pressão constante (J kg⁻¹ °C⁻¹); A – amplitude da rampa (°C); A/(d+s) – frequência da rampa (s⁻¹) e; z – altura de medição da temperatura do termopar (m).

Foram utilizados os parâmetros A e 1/(d+s) obtidos na pesquisa de Silva (2021) com cultivo de mandioca industrial BRS Novo Horizonte cujos sensores eram os mesmos e estavam posicionados com diferença de 0,7, 0,6, 0,2 e 1,3 m nas alturas do anemômetro sônico, termopar ultrafino, piranômetro e saldoradiômetro, respectivamente. Assumiu-se que a vegetação, instrumentos e alturas eram similares para que não fosse realizada a calibração conforme Snyder et al. (2008).

O H_{RAS} foi obtido após a calibração, utilizando o H_{CT} como método padrão, por meio da Equação 07.

$$H_{RAS} = \alpha H' \quad (07)$$

Em que: H_{RAS} – calor sensível obtido pelo método de renovação do ar na superfície após a calibração; α – coeficiente de calibração.

O coeficiente de calibração corresponde à inclinação da regressão linear obtida mediante a plotagem de dados horários de H_{CT} no eixo Y e H' no eixo X, conforme Shapland et al. (2014) e Silva (2021). Teoricamente, de posse de um valor de coeficiente de calibração, é possível determinar o componente sem a utilização do anemômetro sônico.

Fluxo de Calor latente (LE)

Após a determinação do R_n , G e H , o calor latente foi obtido pelo resíduo da equação de balanço de energia (Equação 08).

$$LE = R_n - (G + H) \quad (08)$$

Em que: LE – calor latente ($W\ m^{-2}$); R_n – saldo de radiação ($W\ m^{-2}$); G – fluxo de calor no solo ($W\ m^{-2}$) e; H – calor sensível (H_{CT} ou H_{RAS}).

Evapotranspiração de referência (ET_o), da cultura e Kc

A evapotranspiração de referência foi determinada através da equação de Penman-Monteith (Equação 09) utilizando-se dados da estação de coleta automática localizada no município de Brumado, a aproximadamente 40 km do local do experimento.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\gamma \frac{900}{T + 273}\right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (09)$$

Em que: ET_o – evapotranspiração de referência ($mm\ dia^{-1}$); R_n – saldo de radiação à superfície da cultura ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); G – densidade de fluxo de calor no solo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); T – temperatura do ar a 2 m de altura ($^{\circ}C$); U_2 – velocidade do vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$); e_s – pressão de vapor de saturação (kPa); e_a – pressão parcial de vapor (kPa); Δ – declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$); γ – constante psicrométrica ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$).

O fluxo de calor latente (LE) cuja aquisição era de meia hora, foram integrados para valores horários. Posteriormente, calculou-se a evapotranspiração da cultura por meio da Equação 10 e somou-se os valores positivos para determinação da ET_c diária.

$$ET_c = 3600\lambda LE \quad (10)$$

Em que: ET_c – evapotranspiração da cultura do maracujazeiro (mm); λ – calor latente de vaporização da água a 25 °C (2,45 MJ).

Por sua vez, o K_c representa a relação entre a demanda hídrica da cultura e a demanda potencial da atmosfera (Equação 11).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (11)$$

Contabilizou-se diariamente o tempo de irrigação. Esse tempo foi utilizado para o cálculo da lâmina aplicada por dois gotejadores de 4,0 L h⁻¹ por planta. Como o sistema de irrigação era do tipo localizado, a lâmina, teoricamente, já estava ajustada de acordo com um fator de correção (K_L) conforme a Equação 12 (Frizzone et al., 2012). Considerou-se a formação de uma faixa sombreada com largura média de 0,8 m e comprimento de 1,0 m, totalizando uma projeção de área sombreada de 1,6 m² por cada 5m² (área de contribuição de dois gotejadores) ao final do experimento. Estimou-se a projeção mensal com base na área foliar.

$$K_L = (P^{0,5}) \times 0,1 \quad (12)$$

Em que: K_L – fator de correção (adimensional) e; P – porcentagem de área coberta.

A faixa sombreada foi determinada utilizando aerofotografia (Figura 03).



Figura 03 – Vista aérea do pomar de maracujazeiro em fase de produção.

Assumiu-se a lâmina real aplicada por planta (LRA) como sendo a $ET_{c\text{ajustada}}$ e a lâmina determinada pela área da planta (L) como a ET_c na Equação 13 que é utilizada para o dimensionamento de sistemas de irrigação do tipo utilizado neste experimento.

Para fins de comparação com a ET_c determinada pelo método de renovação do ar na superfície, utilizou-se L (Equação 14).

$$ET_{c_{ajustada}} = ET_c \times K_L \quad (13)$$

$$L = \frac{LRA}{K_L} \quad (14)$$

Área foliar

Folhas com diferentes tamanhos foram utilizadas para a obtenção de uma equação mais adequada para a variedade utilizada. Mediu-se o comprimento e largura do lóbulo central de cada folha (Figura 04-A) e, posteriormente, um esboço da folha foi desenhado numa folha de ofício com granulometria de 75 g/m^2 . Após realizado recorte, cada folha de papel foi então pesada e a partir da relação de massa e área, determinou-se a área foliar, obtendo-se a equação evidenciada na Figura 04-B.

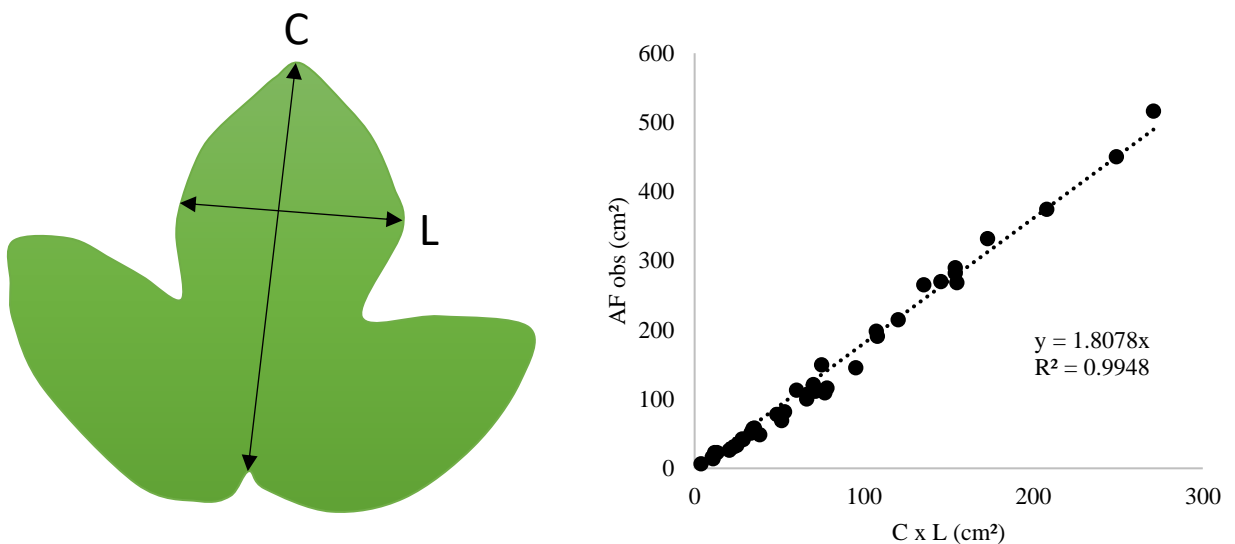


Figura 04 – Aquisição das dimensões das folhas (A) e modelo utilizado na determinação da área foliar (B).

Um modelo de crescimento da área foliar em função da soma de grau-dias foi calculado. Para a soma de grau dias, utilizou-se temperatura basal mínima de $8 \text{ }^\circ\text{C}$ e a máxima de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ conforme Ometo (1981). A partir dos dados diários de temperatura, calculou-se o grau dia diário conforme as seguintes situações:

$$GD = \frac{T_M - T_m}{2} + (T_m - T_b) \quad (15)$$

Quando $T_m > T_b$ e $T_M < T_B$ e,

$$GD = \frac{2(T_M - T_m)(T_m - T_b) + (T_M - T_m)^2 - (T_M - T_B)}{2(T_M - T_m)} \quad (16)$$

Quando $T_m > T_b$ e $T_M > T_B$.

Em que: T_M – temperatura máxima (°C); T_m – temperatura mínima (°C); T_b – temperatura basal inferior (8 °C) e; T_B – temperatura basal superior (30 °C).

A soma de grau dias ou grau dias acumulado foi determinada a partir da soma do dia atual com o posterior, obtendo-se uma equação do tipo sigmoide a partir da relação entre a área foliar e a soma de grau dias (Figura 05). A área foliar não foi estimada até o final do experimento em virtude da alta sobreposição entre as folhas. De posse da área foliar, o índice de área foliar foi determinado através da relação com a área ocupada pela planta (2,5 m²)

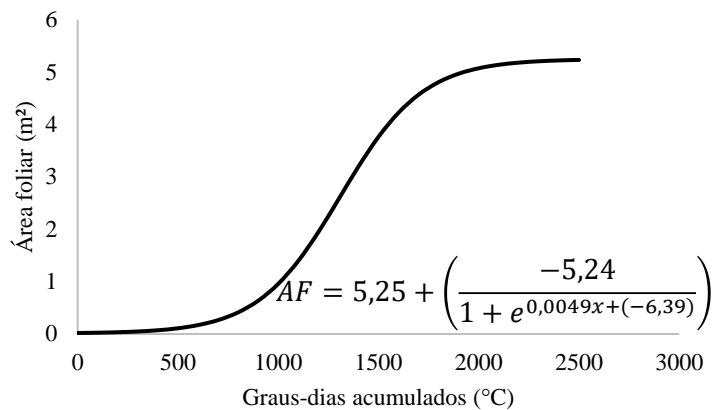


Figura 05- Determinação da área foliar do maracujazeiro a partir dos graus-dias acumulados.

Análise estatística

A comparação do método de renovação do ar na superfície foi analisada estatisticamente pelo coeficiente de determinação (R^2) e raiz quadrada média do erro (RMSE) tendo como referência o método de covariância turbulenta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação do fator de calibração

Em situação de atmosfera instável, observa-se um padrão mais linear dos dados, obtendo-se um alfa de 0,9698 a um nível de confiança elevado ($R^2=0,906$). Por outro lado, em condição estável, o alfa é de 0,5993 e R^2 de 0,7534 (Figura 05). Este alfa reduzido em condição de atmosfera estável é esperado (Paw U et al., 2005).

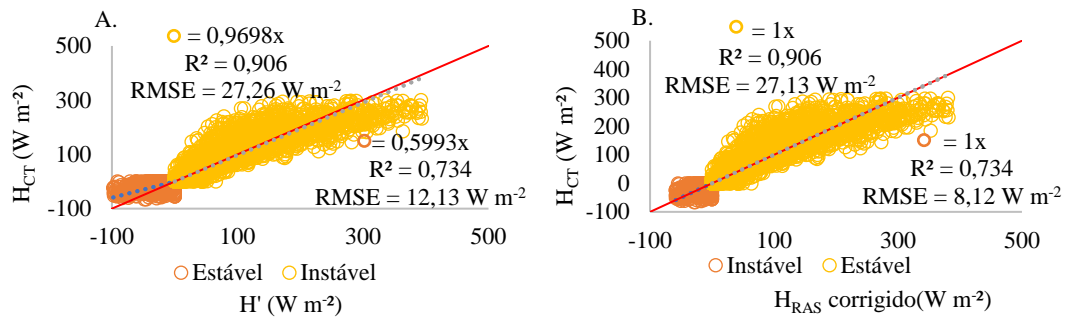


Figura 05 – Alfa, coeficiente de determinação e raiz quadrática do erro médio em condição de atmosfera estável ($H < 0$) e instável ($H > 0$) antes (A) e posterior (B) ao processo de calibração.

Calibrando-se o H pelo método de renovação de superfície utilizando o alfa separadamente, os valores de RMSE permanecessem muito próximos, partindo de 27,26 para 27,13 W m⁻² em condição de atmosfera instável, correspondendo a uma redução na ordem de 0,48%. Em contrapartida, a redução do RMSE em condição de atmosfera estável foi de 12,13 para 8,12 W m⁻², ou seja, 33%.

Assim, a fim de eliminar incertezas dos dados durante a noite, Shapland et al. (2012) sugerem que H e LE sejam assumidos pelo valor zero quando o saldo de radiação líquida for negativo. Anteriormente, Spano et al. (2000) já realizava a comparação de métodos de obtenção do H utilizando somente valores positivos obtidos pelo método de covariância de turbilhões na calibração do método RAS em vinhedos.

Embora a primeira pesquisa utilizando o método de RAS tenha sido realizada com obtenção de alfas separados para condição de atmosfera instável e estável (Paw U et al., 1995), posteriormente, pesquisadores adotaram o uso de um único alfa (Spano et al., 1997; Duce et al., 1998; Snyder et al., 2003). Assim, no presente trabalho, determinou-se um alfa comum às duas condições de atmosfera, apresentado na Figura 06.

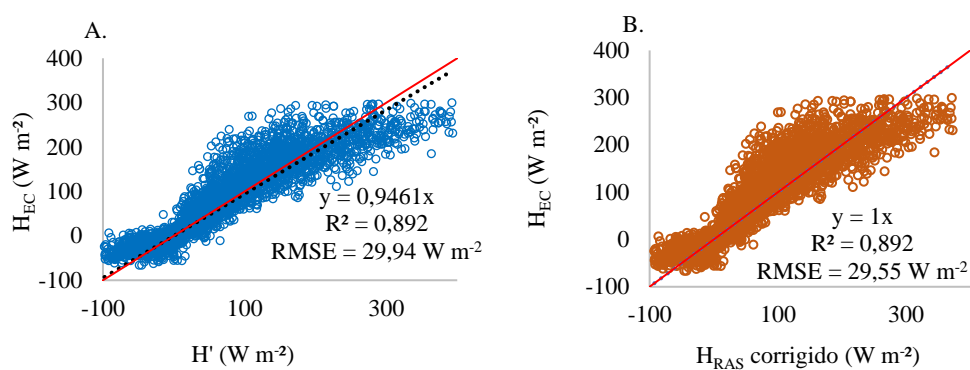


Figura 06 – Relação entre H obtido pelo método RAS e CT para obtenção do alfa (A) e relação dos dados após a calibração (B).

O calor sensível obtido pelo método de renovação do ar na superfície (H') apresentou uma alta concordância com o H obtido pelo método de covariância de turbilhões (H_{EC}), apresentando $r^2=0,892$ (Figura 06), utilizando-se os parâmetros das rampas de temperatura determinados para a cultura da mandioca. O α (0,9461), proveniente da inclinação da reta, foi utilizado para a calibração do H_{SR} . É possível notar que antes do processo de calibração, os valores de H_{RAS} são superestimados.

O alfa obtido para a cultura do maracujazeiro foi muito próximo a 1,0 o que indica que, com os parâmetros de altura de instalação dos sensores, diâmetro do termopar ultra fino e de elementos de rampa atenderam aos critérios para estimativas próximas à obtidas por CT, visto que, o fator de calibração é responsável pelo aquecimento desigual dentro da estrutura surgida a partir da distribuição vertical não uniforme de fontes de calor no dossel da planta (Paw U et al., 1995). Esses mesmos autores, que utilizaram o método em um pomar, topo de floresta e campo de milho, sugerem que o aquecimento se dá de forma linear decrescente do topo da copa até o solo.

Os valores de RMSE obtidos neste experimento foram de 29,94 e 29,55 $W m^{-2}$. Spano et al. (2000) em uma série de três experimentos com a cultura da videira variando a altura, observaram que o menor valor, com alto R^2 , foi de 34 $W m^{-2}$ com alfa igual a 0,89. Esses autores, inclusive, sugeriram um posicionamento dos sensores a 90% da altura

da copa para obtenção de alfa igual a 1,0, descartando assim, a necessidade de calibração utilizando um anemômetro sônico. No entanto, Parry et al. (2019) obtiveram valor de alfa próximo a 1,0 na videira com topo do dossel a 2,0 m de altura e instalação dos sensores a 2,89 m.

O cultivo do maracujazeiro na propriedade era conduzido de forma anual, com ciclo de, no máximo, nove meses, em virtude da inviabilidade de controle de pragas e doenças após o sétimo mês. Durante esse tempo, era perceptível uma grande diferença tanto da arquitetura do dossel, quanto da fração de cobertura do solo. Assim, realizou-se a determinação de alfas mensais (Figura 07).

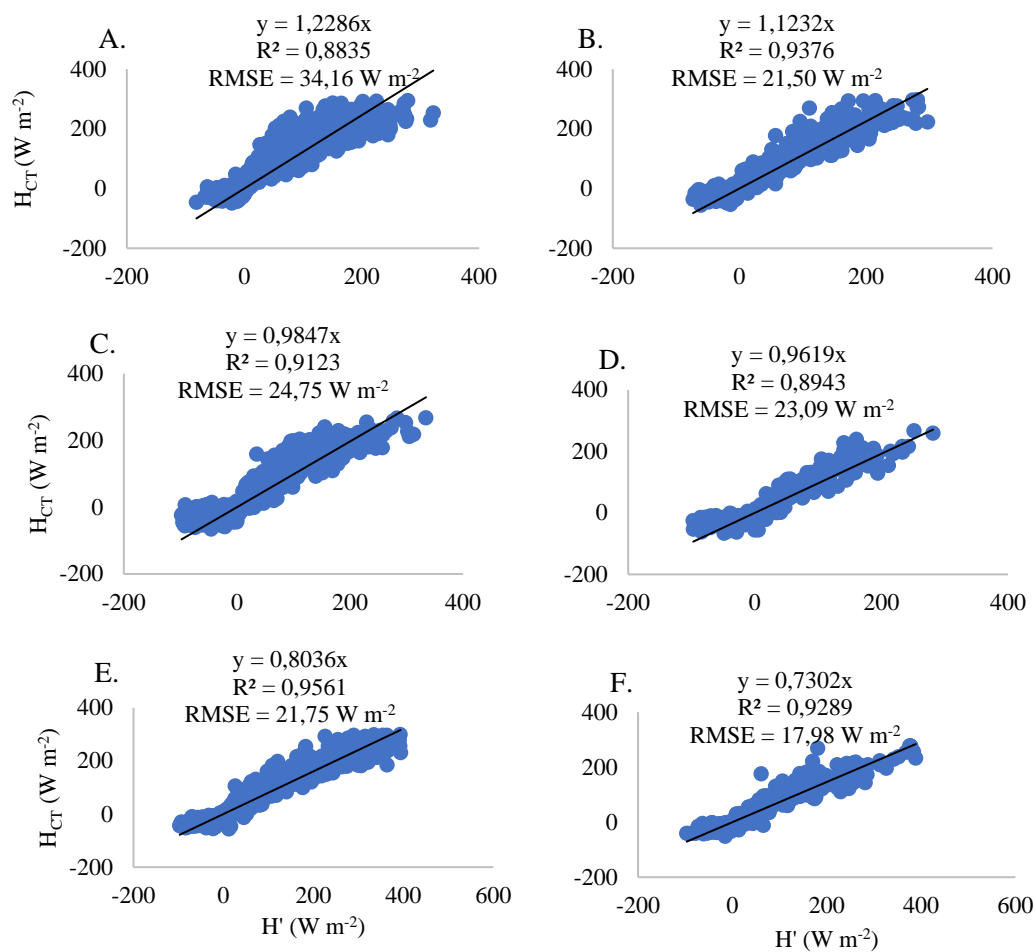


Figura 07 – Relação entre os valores de H obtidos por RAS (H1) e por covariância de turbilhões nos meses de junho (A), julho (B), agosto (C), setembro (D), outubro (E) e novembro (F).

O primeiro mês avaliado, impactou um RMSE de $34,16 \text{ W m}^{-2}$, sendo o maior em comparação aos demais. Nesse mês, o pomar estava em fase de crescimento vegetativo. Em julho, as plantas já estavam com os ramos terciários em formação e início da primeira

floração que se estendeu por dois meses. Nota-se que nesse segundo mês, houve uma minimização do erro, permanecendo-se mais estável até o final da coleta de dados. As principais variações existentes durante esses meses foram da área foliar e da precipitação que foi iniciada no final de outubro.

A partir da relação entre as médias de alfa e de área foliar, nota-se uma redução dos valores de alfa enquanto a área foliar é incrementada (Figura 08). O alfa mensal variou de 1,2286 à 0,8036, enquanto o índice de área foliar estimada variou entre 0,63 a 3,4 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, de junho a outubro, respectivamente.

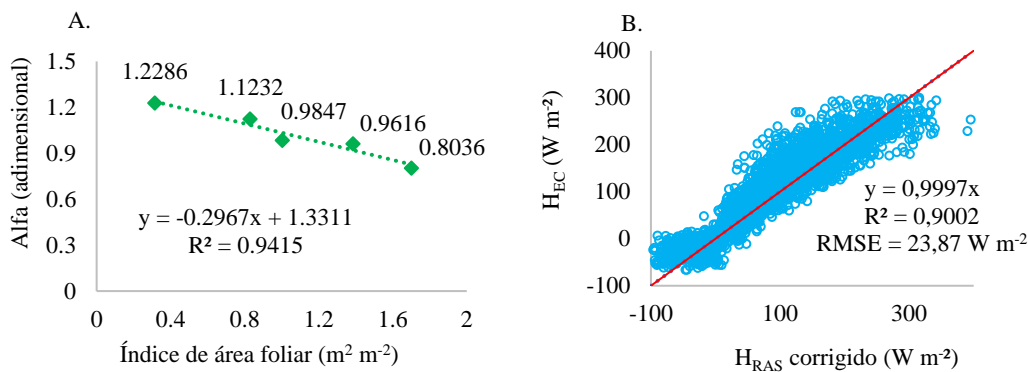


Figura 08 – Relação entre alfa e área foliar médios mensais.

Em junho, período em que se iniciou a aquisição de dados, as plantas estavam a 57 dias após o transplântio, apresentando altura inferior à metade da altura final de 1,8 m (Figura 09-A e Figura 09-B) e área foliar média mensal de 1,57 m^2 . Neste momento, há uma maior exposição de solo e o topo do dossel está situada muito abaixo dos sensores. Sugere-se que os processos de aquecimento e resfriamento tiveram comportamento distinto ao longo do experimento, acompanhando o crescimento e alteração da arquitetura do dossel da planta que, no último mês de medição de área foliar, era caracterizada por uma espessa cortina e elevada sobreposição de folhas apresentando IAF de 3,4 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ (Figura 09-C).

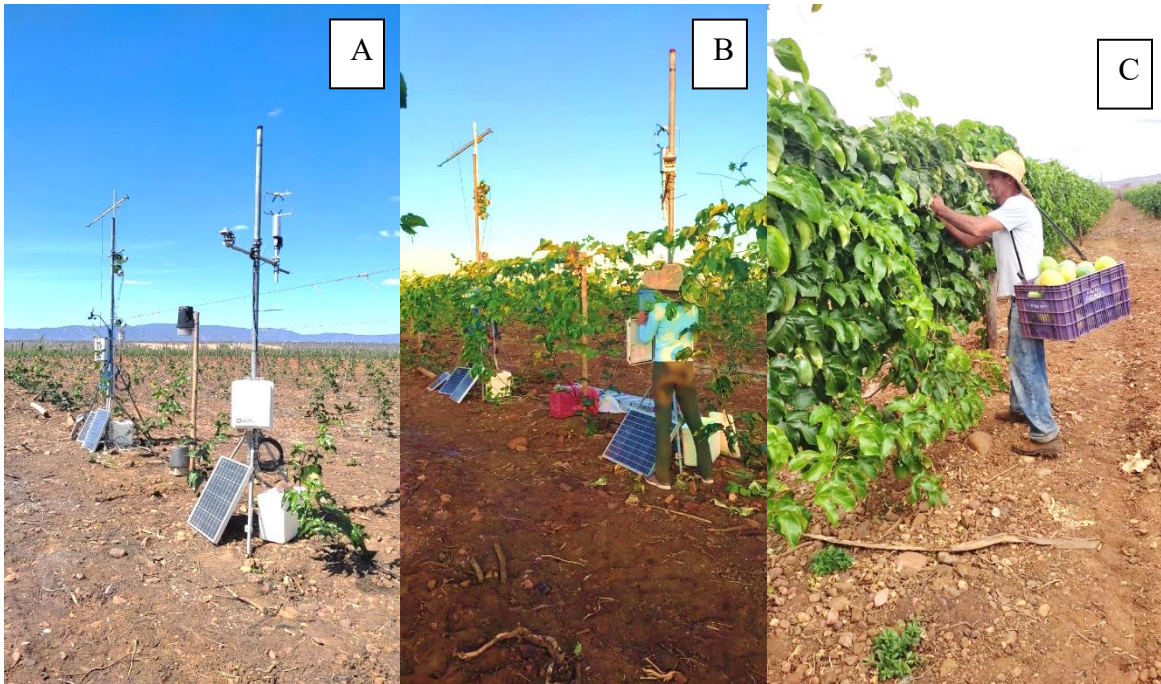


Figura 09 - Crescimento e formação das cortinas de produção do maracujazeiro aos 57 (A), 80 (B) e 161 dias após o transplântio (C).

Esses resultados com redução do valor de alfa em virtude da maior produção de folhas corroboram com Poblete-Echeverría et al. (2014) que, avaliando quatro estádios fenológicos da cultura da uva, também observaram redução dos valores de alfa (de 1,01 a 0,93) com o incremento do índice de área foliar e fração de cobertura do solo, indicando, mais uma vez, que o alfa depende da arquitetura do dossel da cultura.

Valores de alfa variando de 1,6 a 1,9 foram observados em solo nu por Duce et al. (1998) quando utilizado termopar de 76 μm com fio simples de cobre-constantan, semelhante ao utilizado nesta pesquisa. Isso poderia indicar que, solo exposto promove maiores valores de alfa, como observado no primeiro mês de coleta de dados.

Isso estaria de acordo com Spano et al. (2000) e Shapland et al. (2012) que enfatizam que o alfa deve ser exclusivo para cada superfície de cultivo e altura de medição, uma vez que, a heterogeneidade vertical das fontes de energia do dossel da planta, leva ao aquecimento desigual da parcela de ar, o que é corroborado por Spano et al. (1997) e Snyder et al. (1997). Outros parâmetros como diâmetro do termopar e frequência de aquisição também afetam o fator de calibração (SHAPLAND et al., 2014).

O maior RMSE foi determinado com o conjunto total de dados sem distinção da condição de estabilidade da atmosfera, sendo na ordem de $29,55 \text{ W m}^{-2}$. Quando foi realizada essa divisão, obteve-se valores de $27,13$ e $8,12 \text{ W m}^{-2}$, para as condições de atmosfera instável e estável, respectivamente. O menor erro foi obtido quando a determinação do alfa se deu de forma mensal que variou, inicialmente, de $34,16$ a $17,98 \text{ W m}^{-2}$. Após a calibração dos dados com seus respectivos alfas, o RMSE passou a ser de $23,87 \text{ W m}^{-2}$.

Embora haja essa variação dos valores de alfa quando se determina separadamente em atmosfera estável e instável e de forma mensal, o RMSE após o processo de calibração, em todos os casos, situa-se abaixo de 30 W m^{-2} . Esses valores são menores que os erros observados por Spano et al. (2000) que indicaram que a instalação futura de sensores para a determinação de H usando RAS a 90% da altura da videira descartaria a determinação de alfa e levaria a erros inferiores a 45 W m^{-2} .

Portanto, sugere-se que o alfa igual a 1,0 pode ser adotado no processo de calibração para uso do método de renovação do ar na superfície, o que, neste caso, descartaria o processo de calibração utilizando o método de covariância turbulenta. No entanto, na continuidade das análises, adotou-se alfa igual a 0,9461. Tomando posse dos valores de H obtido dessa forma, a determinação do fluxo de calor latente foi realizada pelo resíduo do balanço de energia.

Partição dos componentes do balanço de energia

A partição de energia na cultura do maracujazeiro obtida neste experimento se deu em 13,9% para o fluxo de calor no solo, 31,04% para fluxo de calor sensível e de 55% para fluxo de calor latente (Figura 10).

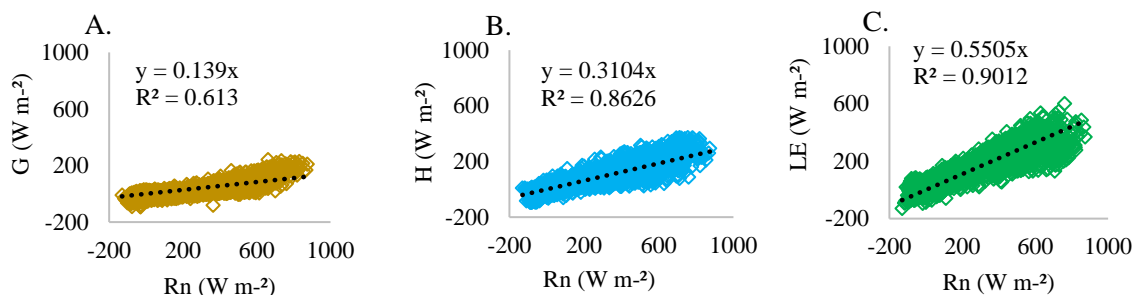


Figura 10 - Relação entre a radiação líquida (R_n) e os componentes de energia: fluxos de calor no solo (A), sensível (B) e latente (C).

Embora na própria rotina de cálculo da ETo pela metodologia da FAO (Allen et al., 1998), o fluxo de calor no solo seja desprezável, observa-se que, nesta pesquisa, esse componente do balanço de energia representou uma partição de 13,9%. Kustas et al. (2000) indicam que a fração de G em relação a Rn varia entre 5 a 10% em solos apresentando alta cobertura, enquanto solos com cobertura parcial chega até 40%.

A mensuração da variação existente no G dependendo da escala temporal, cobertura, propriedades e umidade do solo, por exemplo, é importante no balanço de energia, pois pode aumentar ou reduzir a taxa evapotranspiratória (Galvani et al., 2001; Santanello Jr; Friedl, 2003).

A maior partição foi para o fluxo de calor latente. No entanto, o percentual de 55% é muito inferior ao obtido por Silva (2020), com aproximadamente 73% avaliando o método de RAS na cultura da mandioca. Segundo o autor, a condição de cultivo foi sem restrição hídrica, com coleta de dados no período de ocorrência de 70% da precipitação anual.

Com a cultura da videira, que apresenta dossel mais semelhante ao maracujazeiro, Gao et al. (2020) obtiveram uma proporção de 57% de LE com irrigação por sulco. Esse valor é ainda menor em cultivo com gotejamento, apresentando uma proporção de 46%. Nota-se que a maior porção de LE em irrigação por sulco é promovida pela maior umidade, o que reduz a diferença entre a temperatura do solo e a temperatura do ar. Isso explicaria a maior proximidade da proporção encontrada nesta pesquisa com a irrigação por sulco, visto que, a irrigação praticada na propriedade formava uma faixa molhada contínua.

O saldo de radiação aumentou entre junho e julho, apresentando uma queda no mês de novembro em função de dias nublados que promoveram eventos de precipitação nesse período (Tabela 02). Nota-se médias de fluxo de calor no solo positivas apenas nos meses de setembro e outubro, acompanhando o aumento ocorrido no Rn. Vale ressaltar que a predominância de valores negativos está associada às baixas temperaturas durante a noite na região que resultam na perda de calor do solo para a atmosfera.

Tabela 02 – Médias de 30 minutos dos componentes do balanço de energia (saldo de radiação (Rn), fluxos de calor no solo (G), sensível e latente (LE)).

Mês	Rn	G	H _{RAS}	LE _{RAS}	H/Rn	LE/Rn	Dias de dados
				W m ⁻²			
Junho	80,35	-7,72	28,22	59,85	0,35	0,74	28
Julho	80,74	-7,83	26,80	69,61	0,33	0,86	31
Agosto	106,50	-5,43	23,08	88,85	0,22	0,83	24
Setembro	120,81	1,16	17,42	102,32	0,14	0,84	8
Outubro	140,75	5,02	44,85	90,88	0,32	0,64	26
Novembro	119,67	-1,61	28,56	92,73	0,24	0,77	13

Os maiores valores de fluxo de calor sensível foram observados no início da coleta de dados, momento em que as plantas ainda estavam em crescimento vegetativo. Existe uma tendência de declínio de H com o passar do tempo.

Agosto, setembro e outubro apresentaram falha na coleta de dados por mau contato nos fios e problemas de recarregamento da bateria. O mês de setembro foi o mais penalizado, tendo apenas oito dias de dados. Já em novembro, a coleta de dados foi encerrada em virtude da temporada de chuvas que impactou na suspensão da irrigação. Assim, é difícil interpretar o aumento brusco ocorrido no fluxo calor sensível em outubro.

Sugere-se que as condições atmosféricas de maiores valores para temperatura e menores para umidade relativa do ar nos meses de setembro e outubro que, por sua vez, aumentaram o déficit de pressão de vapor, tenham reduzido as trocas gasosas das plantas por meio de fechamento estomático mesmo sem restrição hídrica no solo (TAIZ et al., 2017). Assim, houve uma redução na energia utilizada pela planta. Esse último mês apresentou baixa produção de frutos e, inclusive, não gerou floração que possibilitasse produção no mês de novembro (ver Capítulo 1).

Por outro lado, o fluxo de calor latente apresenta crescimento com os passar dos meses. O mês de julho que apresentou um valor médio de LE de 0,86 W m⁻² era caracterizado por formação das cortinas e início da floração. Estudos indicam que há uma forte relação entre o índice de área foliar e LE (Zhao et al., 2017; Shen et al., 2004).

Demanda hídrica da cultura

Durante o período de aquisição dos dados, a média da relação entre a demanda da cultura e a de referência foi de 0,83. As maiores diferenças foram verificadas a partir de outubro, como visto na partição de energia para o fluxo de calor latente na Tabela 2. Por outro lado, as menores diferenças são observadas, aproximadamente, entre os dias do ano 184 e 250 (julho e setembro) (Figura 11-A).

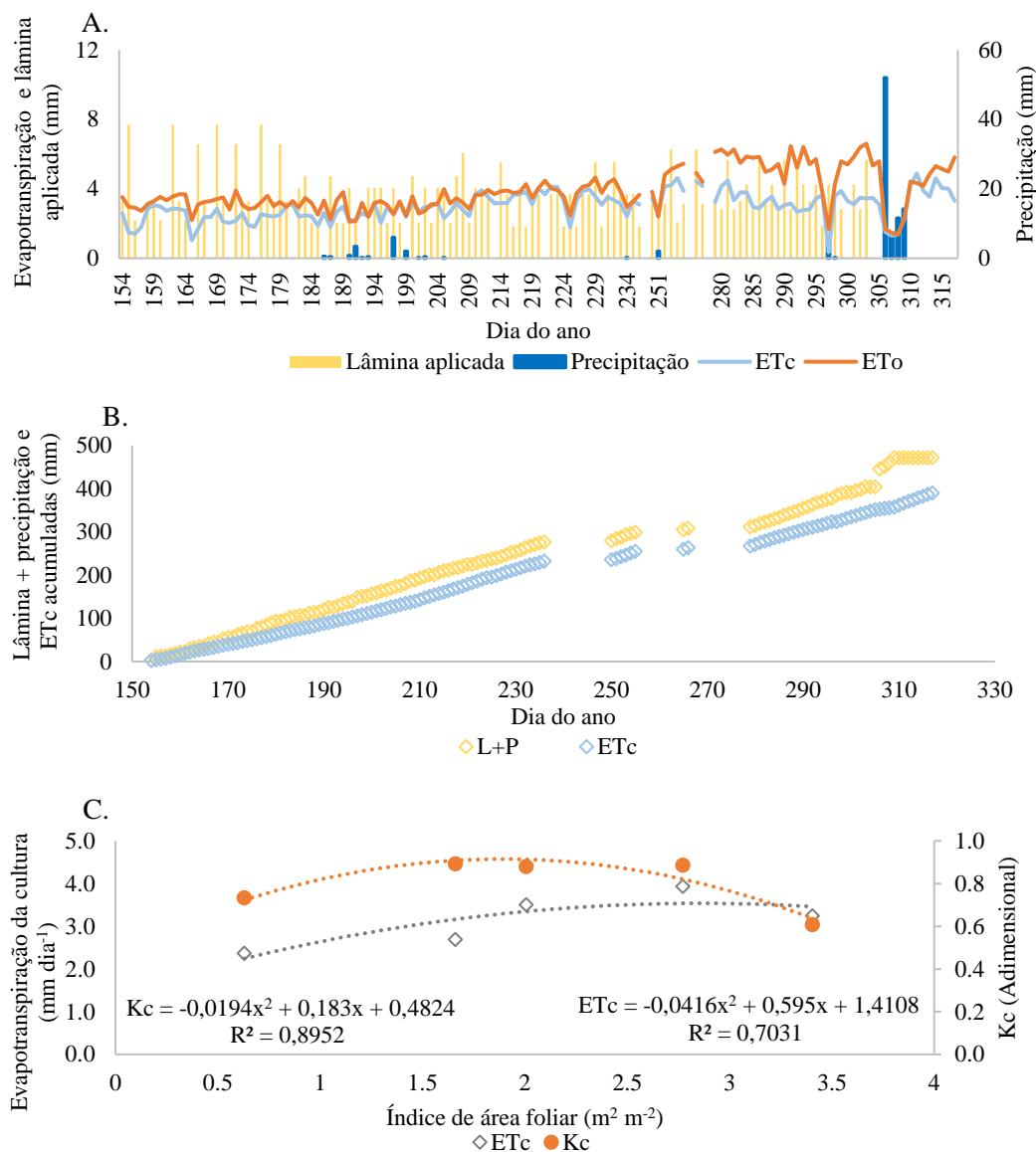


Figura 11 – Variação diária da lâmina aplicada, evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficiente da cultura (Kc) (A), lâmina aplicada e ETc acumuladas (B) e ETc em função da área foliar (C).

Apesar do mês de outubro ser responsável pela maior demanda hídrica da atmosfera, as maiores diferenças entre a lâmina aplicada e a evapotranspiração da cultura foram observadas no início de aquisição dos dados. Neste momento, as plantas

apresentavam área foliar reduzida, com emissão do principal e secundários o que promove baixo percentual de cobertura do solo.

No final de outubro, ocorreu uma redução tanto da demanda da atmosfera quanto da cultura, em função de um breve período chuvoso. Após um novo período de chuvas, a irrigação foi interrompida.

É possível observar que, em diversos momentos, a lâmina aplicada é superior à demanda da planta e, inclusive, à evapotranspiração de referência. A lâmina de água aplicada, sendo o conjunto da lâmina de irrigação + 80% da precipitação, foi maior que a o somatório da evapotranspiração da cultura do maracujazeiro (Figura 11-B).

Essa diferença foi na ordem de 21% ao final do período de coleta de dados. Indicando que esse excedente de água aplicada não foi consumido pelo processo evapotranspiratório, sendo perdida por percolação profunda (Vörösmarty et al., 2010). Assim, além da determinação da demanda hídrica da cultura, é essencial para o correto manejo da irrigação, sobretudo em cenários futuros com pressão ao setor agrícola no gerenciamento da água potável.

Bebel et al. (2018) indicam que pode ocorrer cenários em que a maior eficiência no uso da água pode reduzir o consumo quando não é possível expandir a área irrigada, como por exemplo, na Espanha. Esses mesmos autores sugerem que em situação adversa, pode existir um efeito rebote, em que, a maior economia no consumo de água pode levar à maximização da receita aumentando a área.

A relação entre a demanda hídrica e a área foliar do maracujazeiro é concebida por um polinômio de segundo grau e R^2 de 0,7031 (Figura 11-C). A variabilidade da ET_c é relativamente baixa, com $2,4 \text{ mm dia}^{-1}$ quando a área foliar era de $1,57 \text{ m}^2$, chegando ao máximo de $3,9 \text{ mm dia}^{-1}$ (área foliar= $6,39 \text{ m}^2$) e decresce para $3,2 \text{ mm dia}^{-1}$ na última determinação da área foliar ($8,51 \text{ m}^2$).

Como o início da coleta de dados ocorreu 52 dias após o transplantio, a cultura já estava estabelecida e com alta taxa de crescimento. Em pouco tempo já houve formação da cortina produtiva e bastante sobreposição das folhas, observado pela grande diferença entre a área foliar de julho ($1,57 \text{ m}^2$) e agosto ($4,15 \text{ m}^2$).

Semelhante à ET_c , a relação entre a área foliar e o coeficiente da cultura também gerou uma equação polinomial de segundo grau e R^2 de 0,8952, tendo como valores extremos 0,6 e 0,9. Esses valores podem ser aplicados mais facilmente por parte dos irrigantes visando maior eficiência no uso da água.

Para averiguar o impacto da obtenção no processo de calibração da densidade de fluxo de calor sensível utilizando o método de covariância turbulenta na evapotranspiração da cultura, determinou-se o RMSE (Figura 12-A).

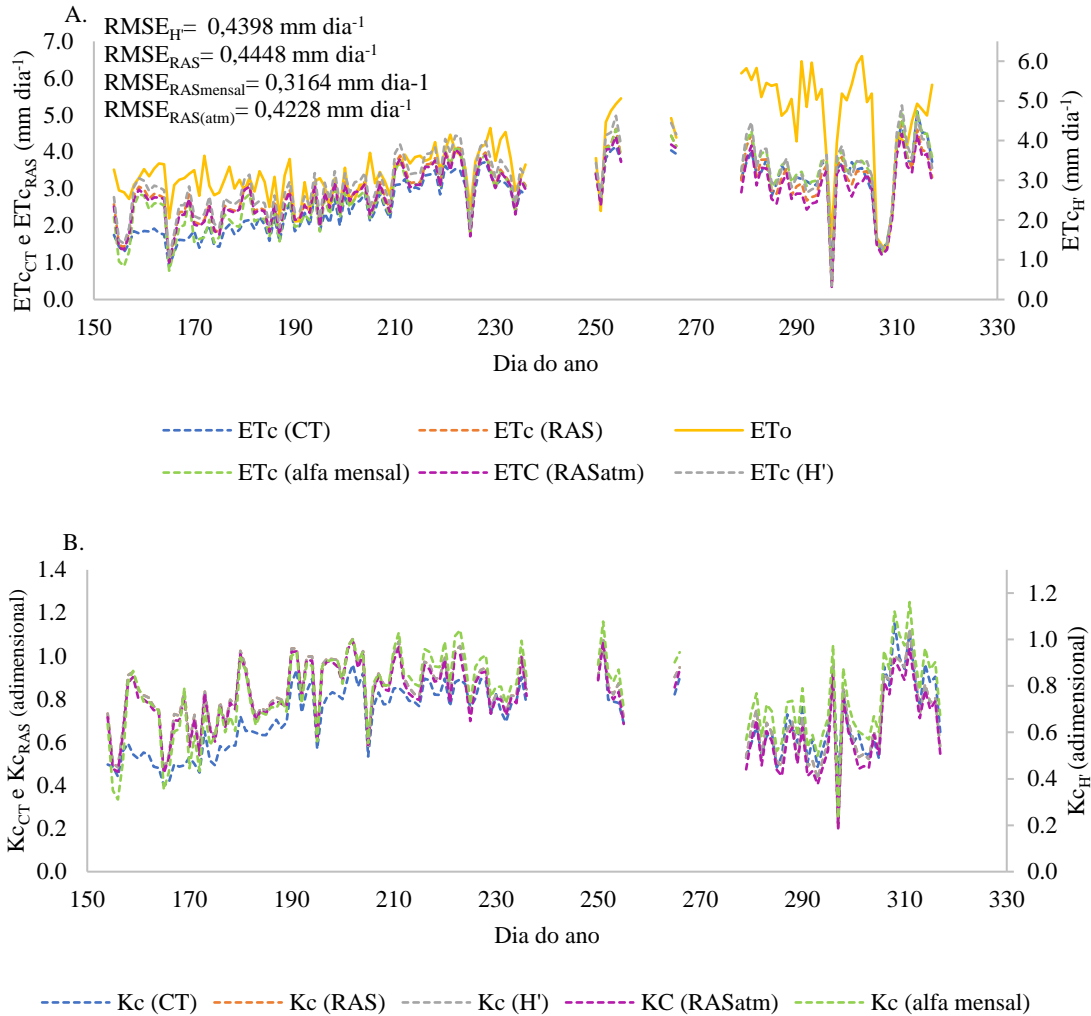


Figura 12 – ETc obtida pelos métodos de covariância turbulenta (CT), renovação do ar na superfície sem calibração (H') e após o processo de calibração utilizando alfa com todo o conjunto de dados (RAS), com duplo alfa (atmosfera estável e instável) e mensal.

É possível perceber que a evapotranspiração da cultura, variável de maior interesse para o manejo da irrigação, não teve discrepância dos valores obtidos após o processo de calibração. O RMSE, em ambas as situações, é de, aproximadamente, 0,44 mm por dia.

Com um RMSE muito próximo, a utilização de dois alfas (Atmosfera estável e instável) promoveu redução na ordem de 4,54%. O menor RMSE (0,3164 mm dia⁻¹) obtido para esta variável foi obtida calibrando-se com alfa mensal. As maiores discrepâncias diárias são verificadas nos primeiros meses de coleta de dados. A partir de

setembro, quando os ramos terciários estão totalmente formados e há maior demanda evaporativa da atmosfera, há menor diferença entre os valores diários de ET_c obtidos pelas metodologias abordadas. O K_c , que representa a relação entre a ET_c e ET_o , segue a mesma sequência, como verificado na Figura 12-B.

CONCLUSÕES

O RMSE utilizando alfa para atmosfera estável (0,5993) no processo de calibração é de $8,12 \text{ W m}^{-2}$, enquanto para atmosfera instável (0,9698) de $27,13 \text{ W m}^{-2}$.

O RMSE obtido comparando-se todo o conjunto de dados entre HEC e H não calibrado, é de $29,94 \text{ W m}^{-2}$. Após o processo de calibração, utilizando-se alfa de 0,9461, O RMSE sofre pouca alteração ($29,55 \text{ W m}^{-2}$).

As medidas de alfa mensais mostram que há redução do seu valor com o incremento da área foliar.

Nas condições de irrigação empírica praticada na propriedade, houve um excedente de água aplicada na ordem de 21%.

O menor RMSE da evapotranspiração da cultura do maracujazeiro foi obtido utilizando-se alfas mensais ($0,3164 \text{ mm dia}^{-1}$).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**, 1998.

BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; EXPÓSITO, A. Impacts of irrigation efficiency improvement on water use, water consumption and response to water price at field level. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 423-429, 2018.

CASTELLVÍ, F.; SNYDER, R. L.; BALDOCCHI, D. D. Surface energy-balance closure over rangeland grass using the eddy covariance method and surface renewal analysis. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 148, p. 1147-1160, 2008.

COSTA-FILHO, E.; CHÁVEZ, J.L.; ZHANG, H.; ANDALES, A. A. An Optimized Surface Aerodynamic Temperature Approach to Estimate Maize Sensible Heat Flux and Evapotranspiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 311, p. 1-21, 2021.

DUCE, P.; SPANO, D.; SNYDER, R. L.; PAW U, K T. Surface renewal estimates of evapotranspiration. Short canopies. **Acta Horticulturae**, v. 449, p. 57-62, 1997.

DUCE, P.; SPANO, D.; SNYDER, R. L.; PAW U, K. T. Effect of different fine-wire thermocouple design on high frequency temperature measurement. 23rd conference on Agricultural and Forest Meteorology American Meteorological Society, p. 146-147, 1998.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, and WHO In **Brief to The State of Food Security and Nutrition in the World**, 2021, 260p.

FRIZZONE, j. a.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. Microirrigação: gotejamento e microaspersão. Maringá: Eduem, 2012, 356p.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA, A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado. **Bragantia**. v. 60, n. 2, p. 139-147, Campinas, SP, 2001.

GAO, L.; ZHAO, P.; KANG, S.; LI, S.; TONG, L.; DING, R.; LU, H. Comparison of evapotranspiration and energy partitioning related to main biotic and abiotic controllers in vineyards using different irrigation methods. **Frontiers of Agricultural Science and Engineering**. v. 7, n. 4, p. 490-504, 2020.

HU, H.; LU, Y.; HU, Y.; DING, R. Evaluation of Two Surface Renewal Methods for Calculating the Sensible Heat Flux over a Tea Field Ecosystem in Hilly Terrain. **Agronomy**, v. 13, n. 1302, p. 1-13, 2023.

HU, Y.; BUTTAR, N. A.; TANNY, J.; SNYDER, R. L.; SAVAGE, M. J.; LAKHIAR, I. A. Surface Renewal Application for Estimating Evapotranspiration: A Review. **Advances in Meteorology**, v. 2018, p. 1-11, 2018.

KUSTAS, W. P.; PRUEGER, J. H.; HATFIELD, J. L.; RAMALINGAM, K.; HIPPS, L. E. Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 103, p. 249-264, 2000.

LU, Y.; LIU, P.; MONTAZAR, A.; PAW, U.K.T.; HU, Y. Soil water infiltration model for sprinkler irrigation control strategy: A case for tea 391 plantation in yangtze river region. **Agriculture**, v. 6, n. 206, p. 1-11, 2019.

MCELTRONE A. J.; SHAPLAND, T. M.; CALDERON, A.; PAW U, K. T.; SNYDER, R. L. Surface renewal: an advanced micrometeorological method of measuring and processing field-scale energy flux density data. **Journal of Visualized Experiments**, v. 82, p. 1-11, 2013.

MCELTRONE, A. J.; PAW U, K. T. Structure Function Analysis of Two-Scale Scalar Ramps. Part II: Ramp Characteristics and Surface Renewal Flux Estimation. **Boundary Layer Meteorology**, v. 145, n. 1, p 27-44, 2012.

OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: **Agronômica Ceres** 1981. 440p.

PARRY, C. K.; SHAPLAND, T. M.; WILLIAMS, L. E.; CALDERON-ORELLANA, A.; SNYDER, R. L.; PAW U, K. T.; MCELTRONE, A. J. Comparison of a stand-alone surface renewal method to weighing lysimetry and eddy covariance for determining vineyard evapotranspiration and vine water stress. **Irrigation Science**, v. 37, p. 737-749, 2019.

PAW U, K. T.; SNYDER, R. L.; SPANO, D.; SU, H. B. Surface renewal estimates of scalar Exchange. **Agronomy**, v. 47, p. 455-483, 2005.

PAW U, K.T.; QIU, J.; SU, H.; WATANABE, T.; BRUNET, Y. Surface renewal analysis: A new method to obtain scalar fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, p. 119–137, 1995.

POBLETE-ECHEVERRÍA, C.; SEPÚLVEDA-REYES, D.; ORTEGA-FARÍAS, S. Effect of height and time lag on the estimation of sensible heat flux over a drip-irrigated vineyard using the surface renewal (SR) method across distinct phenological stages. **Agricultural Water Management**, v. 141, p. 74–83, 2014.

SANTANELLO JR, J. A.; FRIEDL, M. A. Diurnal Covariation in Soil Heat Flux and Net Radiation. **American Meteorological Society**. v.42, p. 851-862, 2003.

SHAPLAND, T. M.; SNYDER, R. L.; PAW U, K. T.; MCELDRONE, A. J. Thermocouple Frequency response compensation leads to convergence of the surface renewal alpha calibration. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 189, p. 36–47, 2014.

SHAPLAND, T. M.; SNYDER, R. L.; SMART, D. R.; WILLIAMS, L. E. Estimation of actual evapotranspiration in winegrape vineyards located on hillside terrain using surface renewal analysis, **Irrigation Science**, v. 30, n. 6, p. 471–484, 2012.

SHEN, Y. J.; ZHANG, Y. Q.; KONDOH, A.; TANG, C. Y.; CHEN, J. Y.; XIAO, J. Y.; SAKURA, Y.; LIU, C. M.; SUN, H. Y. Seasonal variation of energy partitioning in irrigated lands. **Hydrological Processes**, v.18, n. 12, p. 2223–2234, 2004.

SILVA, N. D. Balanço de energia e evapotranspiração em cultivo de mandioca industrial. 2021. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2021. Disponível em: https://ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/Neilon_Duarte_da_Silva_tese.pdf

SNYDER, R. L.; SPANO, D.; PAW U, K. T. Surface renewal analysis for sensible and latent heat flux density. **Boundary Layer Meteorology**, v. 77, p. 249–266, 1996.

SNYDER, R. L.; SPANO, D.; DUCE, P.; PAW U, K. T.; RIVERA, M. Surface renewal estimation of pasture evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 134, n. 6, p. 716–721, 2008.

SOUSA, V. F.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI M. V.; VIANA, T. V. A. Eficiência do uso da água pelo maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de

potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 302-306, 2005.

SPANNO, D.; SNYDER, R. L.; DUCE, P.; PAW U, K. T. Estimating sensible and latent heat flux densities from grapevine canopies using surface renewal. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 104, n. 3, p. 171-183, 2000.

SPANNO, D.; SNYDER, R. L.; DUCE, P.; PAW U, K. T. Surface renewal analysis for sensible heat flux density using structure functions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 86, p. 259–271, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre: **Artmed**, 2017, 888p.

VÖRÖSMARTY, C. J.; MCINTYRE, P. B.; GESSNER, M. O.; DUDGEON, D.; PRUSEVICH, A.; GREEN, P.; GLIDDEN, S.; BUNN, S. E.; SULLIVAN, C. A.; REIDY LIERMANN, C.; DAVIES, P. M. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, p. 555–561, 2010.

WANG, X.; MÜLLER, C.; ELLIOT, J.; MUELLER, N. D.; CIAIS, P.; JÄGERMEYR, J.; GERBER, J.; DUMAS, P.; WANG, C.; YANG, H.; LI, L.; DERYNG, D.; FOLBERTH, C.; LIU, W.; MAKOWSKI, D.; OLIN, S.; PUGH, T. A. M.; REDDY, A.; SCHMID, E.; JEONG, S.; ZHOU, F.; PIAO, S. Global irrigation contribution to wheat and maize yield. **Nature Communications**, v. 12, n. 1235, p. 1-8, 2021.

ZHAO, P.; ZHANG, X. T.; LI, S. E.; KANG, S. Z.; Vineyard energy partitioning between canopy and soil surface: dynamics and biophysical controls. **Journal of Hydrometeorology**, v. 18, n. 7, p. 1809–1829, 2017.

ZHENG, C.; LIU, S.; SONG, L.; XU, Z.; GUO, J.; MA, Y.; JU, Q.; WANG, J. Comparison of Sensible and Latent Heat Fluxes from Optical-Microwave

Scintillometers and Eddy Covariance Systems with Respect to Surface Energy Balance Closure. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 331, p.1-17, 2023.
