

Fortaleza, CE / Maio, 2024

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do cajueiro-anão irrigado e adensado

Fabio Rodrigues de Miranda⁽¹⁾, Afrânio Arley Teles Montenegro⁽²⁾, Marlos Alves Bezerra⁽³⁾, Richard L. Snyder⁽⁴⁾ e Francisca Vânia de Oliveira Moreira⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Pesquisador, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE. ⁽²⁾ Pesquisador, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE. ⁽⁴⁾ Matemático, University of California, Davis-CA, USA. ⁽⁵⁾ Tecnóloga, Fazenda Frutacor, Russas, CE.

Resumo – O estudo objetivou determinar a evapotranspiração (ET_c) e os coeficientes de cultivo (K_c) do cajueiro-anão, clone ‘CCP 76’, com quatro anos de idade, sob cultivo adensado, em Russas, região semiárida do Ceará. O pomar foi irrigado por gotejamento, com turno de rega diário. Para determinar a ET_c diária do cajueiro, foi utilizado o método do balanço de energia/covariância de vórtices turbulentos (“eddy covariance”). Para o cálculo dos valores diários de K_c, a ET_c foi comparada com a evapotranspiração de referência (ET₀), calculada utilizando-se dados meteorológicos horários e a equação FAO Penman-Monteith. A ET_c média de plantas de cajueiro-anão irrigado variou de 1,1 mm d⁻¹ na fase inicial, após a poda de manutenção, até 4,1 mm d⁻¹ na fase de florescimento/frutificação. Em plantas de cajueiro-anão irrigado, a relação ET_c/ET₀ se mantém praticamente constante durante toda a fase de florescimento/frutificação, até a poda da safra seguinte. Foram observados valores médios de K_c de 0,20 na fase inicial e de 0,92 na fase de florescimento/frutificação. Em plantas não irrigadas, a relação ET_c/ET₀ é menor do que em plantas irrigadas e tende a diminuir ainda mais a partir do terceiro mês após o início do florescimento.

Termos para indexação: *Anacardium occidentale* L., “eddy covariance”, gotejamento.

Evapotranspiration and crop coefficients of irrigated dwarf cashew under high-density cultivation

Abstract – The study aimed to determine the crop evapotranspiration (ET_c) and crop coefficients (K_c) of the dwarf cashew tree and was carried out in the Brazilian semi-arid region, in the municipality of Russas, state of Ceará, in an orchard of cashew clone ‘CCP 76’, with four years of age, drip irrigated daily. Cashew ET_c was measured by using the energy balance method with the sensible heat flux determined by the eddy covariance method. Daily K_c values were calculated comparing ET_c with reference evapotranspiration (ET₀), calculated using hourly meteorological data and the FAO Penman-Monteith equation. The mean ET_c of irrigated cashew trees ranged from 1.1 mm d⁻¹ in the initial stage, after production pruning, to 4.1 mm d⁻¹ in the flowering/fruiting stage. In irrigated cashew plants, the relationship between ET_c and ET₀ remained practically constant throughout the flowering/fruiting phase,

Embrapa Agroindústria Tropical

Rua Pernambuco, 2.270, Pici
CEP 60.511-110 Fortaleza, CE
Fone: (85) 3391-7100
www.embrapa.br/agroindustria-tropical
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

José Roberto Vieira Junior

Secretária-executiva

Celli Rodrigues Muniz

Membros

Afrânio Arley Teles Montenegro,

Aline Saraiva Teixeira, Francisco

Nelsieudes Sombra Oliveira,

Helenira Ellery Marinho

Vasconcelos, Kirley Marques

Canuto, Laura Maria Bruno,

Marlon Wagner Valentim Martins,

Pablo Busatto Figueiredo,

Roselayne Ferro Furtado, Sandra

Maria Morais Rodrigues

Edição executiva

José Cesamildo Cruz Magalhães

Revisão de texto

José Cesamildo Cruz Magalhães

Normalização bibliográfica

Rita de Cassia Costa Cid

(CRB-3/624)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

José Cesamildo Cruz Magalhães

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

until the following season pruning. Mean K_c values of 0.20 were observed in the initial phase and 0.92 in the flowering and fruiting phase. When irrigation was not used, the ET_c/ET_0 ratio was lower than in irrigated plants and tended to decrease even more from the third month after the beginning of flowering.

Index terms: *Anacardium occidentale* L., eddy covariance, drip irrigation.

Introdução

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma planta tolerante à seca e capaz de se desenvolver em locais com precipitação anual baixa e estação seca acima de seis meses. No entanto, a adoção de irrigação suplementar durante a estação seca permite aumentar significativamente sua produtividade e qualidade dos frutos (Oliveira et al., 2006; Miranda et al., 2013).

Em regiões semiáridas (com pluviosidade abaixo de 800 mm ano⁻¹), com a utilização de boas práticas de irrigação, adubação e controle fitossanitário, a produtividade do cajueiro-anão pode superar 4 t ha⁻¹ de castanha e 40 t ha⁻¹ de pedúnculo (Montenegro et al., 2021). Além disso, dependendo do clima da região, principalmente da distribuição das chuvas, o período de colheita do cajueiro-anão irrigado pode ser ampliado em até cinco meses em relação ao cultivo de sequeiro (Oliveira et al., 1998).

Apesar disso, existem poucos estudos com resultados confiáveis acerca das necessidades hídricas do cajueiro, e não foi avaliado nenhum método para estimar (ou medir) a evapotranspiração do cajueiro irrigado em escala de pomar (Carr, 2014). Alguns estudos de campo utilizaram os métodos de fluxo de seiva para medir a transpiração de árvores individuais de cajueiro em sequeiro (Oguntunde et al., 2004; Oguntunde, 2007) ou em cultivo irrigado (Blaikie et al., 2001), com resultados variáveis, porém, sem aumentar a escala para o nível de pomar.

Para estimar a evapotranspiração potencial da cultura (ET_c), Allen et al. (1998) recomendam o uso de dados meteorológicos para calcular a evapotranspiração de referência da grama (ET_0), por meio da equação FAO Penman-Monteith e de coeficientes de cultivo (K_c), que representam a taxa relativa de evapotranspiração de uma cultura específica em relação àquela da cultura de referência (ET_c/ET_0). Os autores propõem um método de aproximação dos coeficientes de cultivo, em que três valores de K_c médio (para os estádios inicial, intermediário e final) seriam utilizados para determinar graficamente

a variação do K_c ao longo do ciclo da cultura. Os valores de K_c e de duração das fases fenológicas da cultura devem ser obtidos por meio de experimentos locais, de acordo com a variedade plantada, as condições climáticas e as técnicas de cultivo utilizadas em cada região.

A abordagem K_c-ET_0 fornece uma maneira simples, conveniente e reproduzível de estimar ET_c de várias culturas, considerando-se as condições climáticas. Curvas de coeficiente de cultura foram desenvolvidas e relatadas para uma ampla gama de culturas agrícolas nos documentos de irrigação e drenagem da FAO (Allen et al., 1998) e seus valores-padrão foram atualizados recentemente para hortaliças e culturas de campo (Pereira et al., 2020). No entanto, esses documentos não especificam os coeficientes de cultivo (K_c) do cajueiro que permitam calcular a evapotranspiração potencial da cultura (ET_c).

O conhecimento dos coeficientes de cultivo (K_c) e da evapotranspiração da cultura (ET_c) é de grande importância para o dimensionamento e o manejo de sistemas de irrigação, contribuindo para o aumento da produtividade da cultura e para a otimização da utilização dos recursos hídricos, da energia elétrica e dos equipamentos de irrigação. Nas publicações da Embrapa, as recomendações de lâminas de irrigação do cajueiro-anão são feitas a partir de valores médios anuais de K_c , sem distinção de fenofases, e adaptados a partir de valores de K_c recomendados para frutíferas tropicais com porte e espaçamento semelhantes (Saunders et al., 1995; Miranda et al., 2013).

A ET_c pode ser medida diretamente por meio de lisímetros ou estimada pelos métodos do balanço hídrico do solo, balanço de energia sobre a cultura ou modelos micrometeorológicos. O método do balanço de energia baseia-se no princípio de que o processo de evapotranspiração é governado pela troca de energia na superfície da vegetação e é limitado pela quantidade de energia disponível. Devido a essa limitação, é possível prever a taxa de evapotranspiração aplicando-se o princípio da conservação de energia. A energia que chega à superfície deve ser igual à energia que sai da superfície no mesmo período de tempo. Da energia que chega à superfície terrestre, uma parcela é utilizada para aquecer o ambiente na forma de fluxo de calor sensível; outra no processo de evapotranspiração na forma de fluxo de calor latente; e a outra parcela para aquecer o solo na forma de fluxo de calor no solo (Allen et al., 1998). O fluxo de calor sensível geralmente é obtido com base no método da razão de Bowen, que se baseia na relação do fluxo-gradiente

e transferência de massa ou pelo método da covariância de vórtices turbulentos (“eddy covariance”).

O balanço de energia tem sido amplamente aplicado para a determinação da ETc em pesquisas de campo, em culturas como milho (Steduto; Hsiao, 1998), pastagens (Gomes et al., 2015; Svierzoski et al., 2021), videira (Teixeira et al., 2007), cana-de-açúcar (Silva et al., 2012; Carmo et al., 2017), manga (Teixeira; Bastiaanssen, 2012), entre outras, em virtude de sua relativa simplicidade e precisão.

Nesse contexto, o presente estudo objetivou determinar a evapotranspiração e os coeficientes de cultivo para as diferentes fases fenológicas do cajueiro-anão irrigado, sob cultivo adensado, em uma região semiárida, utilizando-se o método do balanço de energia.

Material e métodos

O experimento foi realizado na empresa Frutacor, no Distrito de Irrigação Tabuleiro de Russas, CE (Latitude 4°57' S, Longitude 38°03' O e altitude de 88 m), no período de maio de 2021 a dezembro

de 2022. O clima do local é classificado como semiárido quente (Bsh, segundo a classificação climática de Köppen), com temperatura do ar média de 27,6 °C, precipitação pluviométrica anual de 720 mm e estação chuvosa concentrada nos meses de fevereiro a maio. O solo do local é classificado como Neossolo Quartzarênico (Viana et al., 2012), e seus atributos químicos e granulométricos são apresentados na Tabela 1.

A determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) foi realizada em uma área experimental de cajueiro-anão irrigado e adensado de 2,28 ha (141 x 162 m), composta por plantas dos clones ‘CCP 09’, ‘CCP 76’, ‘Embrapa 51’, ‘BRS 189’, ‘BRS 226’ e ‘BRS 265’, plantadas em 2017, nos espaçamentos de 6 x 2 m, 6 x 3 m e 6 x 4 m. A disposição das plantas, os procedimentos de implantação e os tratos culturais do pomar foram descritos por Montenegro et al. (2021). O controle de plantas daninhas foi realizado por meio da aplicação de herbicidas na estação seca e de roçagem mecânica nas entrelinhas na estação chuvosa.

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo da área experimental em Russas, CE.

Atributo	Unidade	Profundidade (cm)		
		10	30	50
Areia	g kg ⁻¹	887,2	870,9	851,6
Silte	g kg ⁻¹	31,3	92,1	22,5
Argila	g kg ⁻¹	81,5	37,0	125,9
C	g kg ⁻¹	9,8	5,1	3,8
MO	g kg ⁻¹	16,9	8,9	6,50
pH	–	7,0	6,4	5,5
P	mg dm ⁻³	399,0	121,0	38,0
K ⁺	mmolc dm ⁻³	1,9	1,6	1,4
Ca ²⁺	mmolc dm ⁻³	22,5	13,0	6,5
Mg ²⁺	mmolc dm ⁻³	36,0	32,5	14,0
Na ²⁺	mmolc dm ⁻³	0,7	0,65	0,52
Al ³⁺	mmolc dm ⁻³	0,0	0,0	0,5
H+Al ³⁺	mmolc dm ⁻³	19,0	22,3	28,9
SB	mmolc dm ⁻³	61,2	47,8	22,5
CTC	mmolc dm ⁻³	80,2	70,1	51,4
V	%	76,0	68,0	44,0
PST	%	1,0	1,0	1,0
CE	dS m ⁻¹	0,3	0,3	0,4

MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação.

As plantas foram irrigadas por gotejamento, com gotejadores de vazão igual a $2,0 \text{ L h}^{-1}$, espaçados de 0,5 m na linha lateral. Foram utilizadas duas linhas laterais por fileira de plantas, espaçadas de 1,0 m entre si (0,5 m de cada lado da fileira), totalizando oito gotejadores por planta. As plantas foram irrigadas diariamente, com uma lâmina de irrigação média de $2,0 \text{ mm dia}^{-1}$, de acordo com o manejo adotado pelo produtor.

Em 25/02/2021 e 02/02/2022, foram realizadas podas anuais de manutenção, nas quais as copas das plantas foram podadas a uma altura de 1,2 m, como descrito por Montenegro et al., 2021 (Figura 1). Após as podas, as plantas de cajueiro passaram por um período de crescimento vegetativo por cerca de 135 dias (Figura 2). O florescimento dos cajueiros ocorreu nos meses de julho/2021 e julho/2022. A fase de frutificação ocorreu nos meses de agosto/2021 a janeiro/2022 e de agosto/2022 a dezembro/2022.

Foto: Fabio Rodrigues de Miranda



Figura 1. Plantas de cajueiro-anão irrigado após a poda de manutenção realizada em fevereiro/2021. Russas, CE, 2021.

Foto: Fabio Rodrigues de Miranda



Figura 2. Plantas de cajueiro-anão irrigado aos 110 dias após a poda de manutenção. Russas, CE, 2021.

Dados horários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento a 2 m de altura e precipitação pluviométrica foram medidos em uma estação agrometeorológica automática, modelo HOBO U-30 (Onset Computer Co.), instalada ao lado do pomar. Os dados foram usados para estimar valores diários de evapotranspiração de referência (ET_0), utilizando-se o método FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

A evapotranspiração do cajueiro (ET_c) foi determinada por meio do método do balanço de energia residual, no qual o fluxo de calor latente é estimado como o resíduo da radiação líquida, do fluxo de calor do solo e do fluxo de calor sensível, medidos com sensores micrometeorológicos, com base na Equação 1:

$$LE = R_n - G - H_a$$

em que: LE é o fluxo de calor latente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); R_n é a radiação líquida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); G é a densidade do fluxo de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); e H_a é o fluxo de calor sensível ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

A ET_c foi calculada em $\text{kg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, que é equivalente a mm d^{-1} , utilizando-se a Equação 2:

$$ET_c = \frac{LE}{\lambda}$$

em que: o coeficiente λ é o calor latente de vaporização (MJ kg^{-1}) e corresponde ao calor latente necessário para vaporizar 1 kg de água do estado líquido, sendo utilizado na equação 2 um valor constante de $\lambda = 2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$.

Os sensores micrometeorológicos foram instalados em uma torre de fluxo posicionada no centro da área experimental, sobre uma parcela composta por 36 plantas de cajueiro-anão do clone 'CCP 76', plantadas no espaçamento de 6 x 2 m (Figuras 3 e 4).

Na torre de fluxo, foi instalado um sensor de radiação líquida (R_n) (NRLite2, Kipp & Zonen Inc., Delft, Holanda) a uma altura de 3,0 m em relação ao solo. Para medir a densidade do fluxo de calor do solo (G), foram utilizados três sensores (HFP01, Hukseflux Thermal Sensors B.V., Delft, Holanda), instalados na profundidade de 0,05 m e nas distâncias de 0,5; 1,5; e 3,0 m, perpendicularmente à fileira de plantas. Nas mesmas distâncias e profundidades, junto a cada sensor de fluxo de calor do solo, foram instalados sensores de temperatura do solo (TCAV, Campbell Scientific Inc. Logan, UT, EUA).

Foto: Fabio Rodrigues de Miranda



Figura 3. Torre de fluxo com sensores micrometeorológicos utilizada para a determinação da evapotranspiração do cajueiro-anão irrigado. Russas, CE, 2021.



Fonte: Google Earth Pro. Satellite: DigitalGlobe. Imagem de 19/07/2022.

Figura 4. Vista aérea do plantio e localização da torre de fluxo utilizada para a determinação da evapotranspiração do cajueiro-anão irrigado. Russas, CE, 2022.

O fluxo de calor sensível (Ha) foi medido com um anemômetro sônico 3-D (81000RE, RM Young Inc., Traverse City, MI, EUA), instalado a uma altura de 3,5 m em relação ao solo, de acordo com o método de covariância de vórtices turbulentos (Castellví et al., 2008). Os sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados (CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, EUA), programado para realizar as leituras com uma frequência de 10 Hz e armazenar os valores médios a cada 30 minutos.

Visando assegurar que as condições de umidade do solo não fossem restritivas para que a evapotranspiração da cultura ocorresse em nível máximo, a umidade na zona radicular do cajueiro foi monitorada por meio de sensores de umidade do solo do tipo capacitivo (ECH2O EC-10, Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA). Os sensores foram instalados a uma distância de 0,3 m das plantas e 0,2 m da linha de gotejadores, nas profundidades de 0,2; 0,4 e 0,6 m. Foram instalados três sensores

em cada profundidade, em três plantas próximas à torre de fluxo. Os sensores foram conectados a um multiplexador (AM16/32, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, EUA) e a um sistema de aquisição e armazenamento de dados (CR10x, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, EUA) programado para efetuar as leituras de umidade do solo a cada 60 segundos e gravar as médias a cada 60 minutos.

A partir das leituras dos sensores de umidade do solo em cada profundidade, foram calculadas as médias horárias dos percentuais de água disponível no solo (AD), de acordo com a Equação 3:

$$AD = \left[\frac{(\theta_{\text{atual}} - \theta_{\text{pmp}})}{(\theta_{\text{cc}} - \theta_{\text{pmp}})} \right] \times 100$$

em que: AD é a água disponível na camada de solo (%), θ_{atual} é o conteúdo de água no solo no momento da leitura ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), θ_{pmp} o conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) no ponto de murcha permanente e θ_{cc} o conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na capacidade de campo. Os conteúdos de umidade do solo na capacidade de campo (θ_{cc}) e no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) foram determinados no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Ceará, utilizando-se os métodos do funil de placa porosa e câmaras de pressão, a partir de amostras indeformadas. Foram obtidos valores de θ_{cc} , de 0,110; 0,130; e 0,125 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e valores de θ_{pmp} de 0,043; 0,063; e 0,065 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, nas profundidades de 0,2 m; 0,4 m; e 0,6 m, respectivamente.

A área da superfície e a fração do solo coberta pelas copas dos cajueiros foram estimadas a cada 30 dias, medindo-se o diâmetro da copa de 10 plantas, escolhidas aleatoriamente ao redor da torre de fluxo.

Os valores do coeficiente de cultivo do cajueiro (K_c) foram calculados por meio da relação entre os valores diários das evapotranspirações da cultura (ET_c) e de referência (ET_0) estimada pelo método FAO-Penman-Monteith ($K_c = ET_c/ET_0$). Para efeito do cálculo dos valores médios de K_c de cada fase fenológica, o ciclo do cajueiro foi dividido da seguinte forma: fase inicial, da poda até 10% de cobertura do solo; fase de crescimento vegetativo, do final da fase inicial até o início do florescimento; e fase de florescimento e frutificação.

Resultados e discussão

Clima, umidade do solo e irrigação

As médias mensais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento, precipitação pluviométrica e evapotranspiração

de referência obtidas no local do experimento são apresentadas na Tabela 2. Em virtude da latitude e da altitude do local, não foram observadas grandes variações de temperatura máxima do ar (31,9 °C a 37,7 °C) e de temperatura mínima do ar (18,7 °C a 24,6 °C) ao longo dos anos de 2021 e 2022.

As médias de temperatura e de umidade relativa do ar observadas durante quase todos os meses estão dentro das faixas consideradas ótimas para o

desenvolvimento do cajueiro, segundo Crisóstomo (2013), de 22 °C a 40 °C e de 70% a 85%, respectivamente. Segundo Souza et al. (2005), a faixa de temperatura ótima para a fotossíntese do cajueiro ocorre entre 25 °C e 35 °C, e a condutância estomática aumenta à medida que aumenta a temperatura do ar no intervalo entre 20 °C e 35 °C, antes de diminuir em temperaturas mais altas.

Tabela 2. Médias mensais de temperatura máxima e mínima do ar (T_{máx} e T_{mín}), umidade relativa do ar (UR), radiação solar (RS), velocidade do vento (U₂) a 2 m de altura, precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET₀). Russas, CE, 2021–2022.

Mês	T _{máx} °C	T _{mín} °C	UR %	RS MJ m ⁻² d ⁻¹	U ₂ km d ⁻¹	P mm mês ⁻¹	ET ₀ mm mês ⁻¹
Jan./21	36,7	22,7	70,4	20,0	26,5	3,4	135,2
Fev./21	36,0	22,4	66,3	19,6	20,1	111,8	121,3
Mar./21	34,3	22,9	66,4	19,2	66,3	162,6	134,7
Abr./21	34,0	22,8	69,5	19,8	57,2	95,4	129,1
Mai./21	32,5	22,3	75,8	18,5	38,3	113,0	115,8
Jun./21	34,1	21,4	60,8	18,8	38,8	13,0	112,8
Jul./21	34,8	20,6	57,5	18,6	29,7	42,4	114,6
Ago./21	35,8	20,2	57,1	20,2	29,8	0,6	126,8
Set./21	37,1	20,1	73,7	21,4	71,6	0,0	142,1
Out./21	37,7	21,1	74,3	21,8	103,3	0,6	156,7
Nov./21	37,2	22,1	75,6	22,4	99,8	0,4	153,8
Dez./21	35,9	22,9	78,0	20,7	88,7	8,0	140,6
Jan./22	34,0	23,5	72,1	18,3	47,3	60,4	125,0
Fev./22	33,2	24,6	64,0	20,4	58,9	14,4	125,7
Mar./22	33,5	23,4	85,8	18,0	47,5	304,8	122,1
Abr./22	33,0	22,6	91,3	19,3	42,8	171,8	120,1
Mai./22	32,2	22,2	92,7	17,6	40,8	182,4	113,3
Jun./22	31,9	20,7	90,7	17,9	35,0	71,0	104,2
Jul./22	32,5	20,2	86,0	17,9	48,3	25,6	109,7
Ago./22	34,8	19,0	79,6	22,8	44,6	11,8	142,0
Set./22	36,6	18,7	77,1	24,0	52,3	0,8	150,3
Out./22	37,5	19,7	75,2	23,2	63,5	3,0	157,3
Nov./22	36,5	22,1	77,2	21,4	67,3	5,0	142,6
Dez./22	35,3	23,7	72,1	18,5	85,6	4,4	133,1

Foram registrados totais de precipitação pluviométrica de 551 mm e 840 mm nos anos de 2021 e 2022, respectivamente, confirmando a característica semiárida do clima do local. Em 2021, a estação chuvosa ocorreu entre os meses de fevereiro e maio (88% da precipitação anual), ao passo que em 2022 as precipitações concentraram-se entre os meses de março e junho (85% da precipitação anual). Em ambos os anos, as precipitações pluviométricas foram mínimas ou inexistentes entre os meses de agosto e dezembro. Os meses de setembro, outubro e novembro de cada ano foram os mais quentes, com maior radiação solar e maior evapotranspiração de referência.

Em 2021, o cajueiro-anão foi irrigado no período de janeiro a meados de fevereiro e de junho a dezembro (Figura 5). Durante a estação chuvosa (fevereiro a maio/2021), a irrigação foi suspensa e os níveis de umidade do solo na zona radicular do cajueiro variaram em virtude da irregularidade na frequência das precipitações.

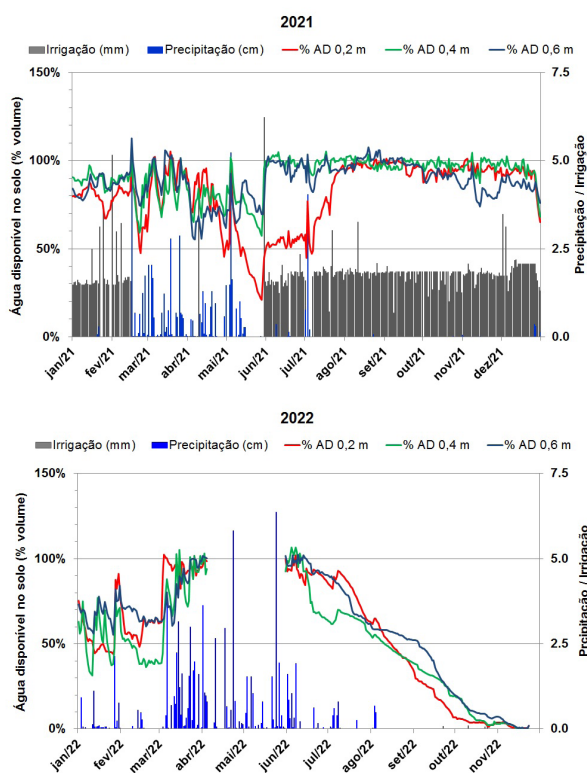


Figura 5. Irrigação (mm), precipitação (cm) e água disponível no solo (% em volume) nas profundidades de 0,2 m; 0,4 m; e 0,6 m. Russas, CE, 2021–2022.

Após o reinício das irrigações (junho/2021), os níveis de umidade na camada de solo de 0 a 0,6 m, que corresponde à profundidade efetiva do sistema radicular do cajueiro-anão, segundo Boni et al. (2008), mantiveram-se acima de 70% da capacidade

de armazenamento total do solo ao longo de quase toda a estação seca, indicando que não houve restrição hídrica para manter a evapotranspiração da cultura em níveis ótimos durante as fases de florescimento e frutificação em 2021.

Já em 2022, por opção do produtor, a irrigação não foi aplicada no cajueiro. Com isso, os níveis de água disponível no solo oscilaram na pré-estação chuvosa (janeiro-março), aumentaram durante a estação chuvosa (março-junho) e diminuíram progressivamente durante a estação seca, atingindo níveis abaixo de 50% da capacidade de armazenamento do solo a partir do mês de agosto/2022.

Embora não haja recomendações específicas para o cajueiro com relação aos níveis ideais de água disponível no solo, considera-se que para frutíferas arbóreas em geral, a evapotranspiração real da cultura é reduzida em relação à evapotranspiração máxima quando o percentual de disponibilidade de água no solo está abaixo de 50% (Doorembos; Kassam, 1979). Dessa forma, pode-se considerar que a diminuição da umidade do solo no segundo semestre de 2022 provavelmente reduziu os valores diários de evapotranspiração do cajueiro-anão durante a fase de florescimento/frutificação daquela safra, em relação à evapotranspiração potencial da cultura sem limitação de umidade no solo.

Balanço de energia

Na Figura 6, são apresentadas as variações diárias dos componentes dos balanços de energia obtidos nos anos de 2021 e 2022, com o fluxo de calor sensível (H_a) calculado pelo método de correlação de vórtices turbulentos. Em 2021, os dados do balanço de energia foram obtidos somente no período de maio a dezembro em virtude de uma falha da estação de fluxo.

Em 2021 e 2022, os valores diários de radiação líquida (R_n) foram mais baixos no período de maio até meados de julho (médias mensais entre 9,7 e 10,8 MJ m⁻² d⁻¹) e daí em diante aumentaram até o mês de novembro (médias mensais entre 12,1 e 14,9 MJ m⁻² d⁻¹), acompanhando o aumento da radiação solar global no mesmo período, mostrado na Tabela 2. De acordo com Fietz e Fisch (2009), a R_n é o fator meteorológico que exerce maior influência na evapotranspiração.

Os valores diários de fluxo de calor do solo (G) foram próximos a zero em ambos os anos (médias de 0,14 MJ m⁻² d⁻¹ em 2021 e de -0,03 MJ m⁻² d⁻¹ em 2022). Tal fato é esperado, pois durante o dia a superfície se aquece, gerando um fluxo de calor para o interior do solo. À noite, o sentido do fluxo é invertido e passa a ser do interior do solo para a superfície.

Por isso, quando se consideram os valores diários, o fluxo de calor do solo tende a ser nulo e tem pequena influência sobre a evapotranspiração.

Em 2021, os valores do fluxo de calor latente (LE) foram mais baixos e com valores mais próximos do fluxo de calor sensível (Ha) na fase de crescimento vegetativo do cajueiro nos meses de maio e junho/2021 (média de $5,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). A partir do mês de julho/2021, os valores diários de LE aumentaram significativamente, alcançando valores entre 10 e $12 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ nos meses de agosto a dezembro/2021. No mesmo período, observou-se que a média dos valores diários de fluxo de calor sensível (Ha) manteve-se abaixo de $4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, aumentando a diferença entre os valores diários de LE e Ha. À medida que aumentou a cobertura vegetal do cultivo e a cultura entrou na fase de florescimento/frutificação, uma fração maior da radiação líquida absorvida foi convertida em evapotranspiração, em vez de contribuir para o aquecimento do ar.

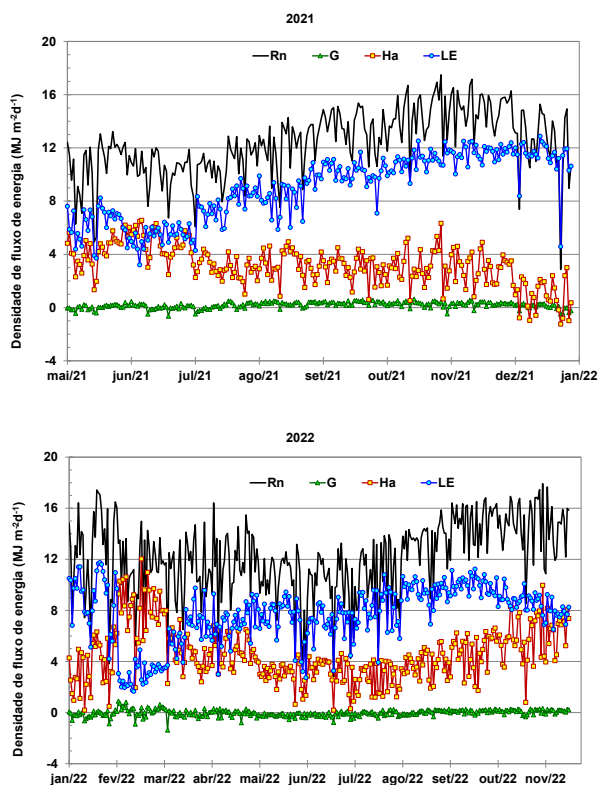


Figura 6. Variação dos valores diários de radiação líquida (Rn), densidade do fluxo de calor do solo (G), fluxo de calor sensível (Ha) e fluxo de calor latente (LE), em $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Russas, CE, 2021–2022.

Essa situação se inverteu no início de fevereiro/2022, quando o componente Ha passou a predominar sobre o LE por cerca de 30 dias, após a poda do cajueiro. Tal fato pode ser atribuído à redução da área foliar após a poda, o que fez com que a transpiração dos cajueiros fosse drasticamente reduzida e a maior parte da radiação líquida absorvida fosse convertida em fluxo de calor sensível. Segundo Swann et al. (2015), a perda de área foliar leva a uma redução da evapotranspiração e, consequentemente, a um aumento do fluxo de calor sensível e ao aquecimento da superfície.

Entre maio e agosto de 2022, foi observado um comportamento semelhante dos componentes LE e Ha em relação ao mesmo período em 2021, com aumento progressivo dos valores diários de LE e manutenção dos valores de Ha, em média abaixo de $4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Isso ocorreu em virtude do desenvolvimento vegetativo (aumento de área foliar) do cajueiro e, consequentemente, de suas taxas de evapotranspiração.

Segundo Pereira et al. (2020), o aumento da área de superfície foliar da planta significa mais superfície e condutância estomática total e mais oportunidade para difusão de vapor d'água das folhas como transpiração. Da mesma forma, mais cobertura do solo ou área foliar significa mais área de superfície para absorção de fótons solares e posterior conversão dessa energia em ET. Portanto, sob condições semelhantes de condutância estomática e propriedades arquitetônicas de folhas e copas, pode-se esperar, sob condições adequadas de umidade do solo, o aumento da ETc com o aumento da cobertura do solo ou da área foliar.

No entanto, no período de agosto-novembro/2022, ao contrário de 2021, a diferença entre os valores diários de LE e Ha diminuiu, com o Ha alcançando valores de até $8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a partir de outubro/2022, mesmo com uma cobertura vegetal do cajueiro semelhante àquela observada no mesmo período do ano anterior.

A Figura 7 permite visualizar o comportamento das médias mensais das frações de cada componente do balanço de energia em relação à radiação líquida nos dois anos. Em 2021, a relação Ha/Rn variou de 0,40 a 0,47 nos meses de maio e junho, e diminuiu a partir de julho para médias mensais variando de 0,19 a 0,26 nos meses de agosto a dezembro/2021. Ou seja, no período agosto-dezembro/2021, de 74% a 81% da radiação líquida foi convertida em evapotranspiração (LE).

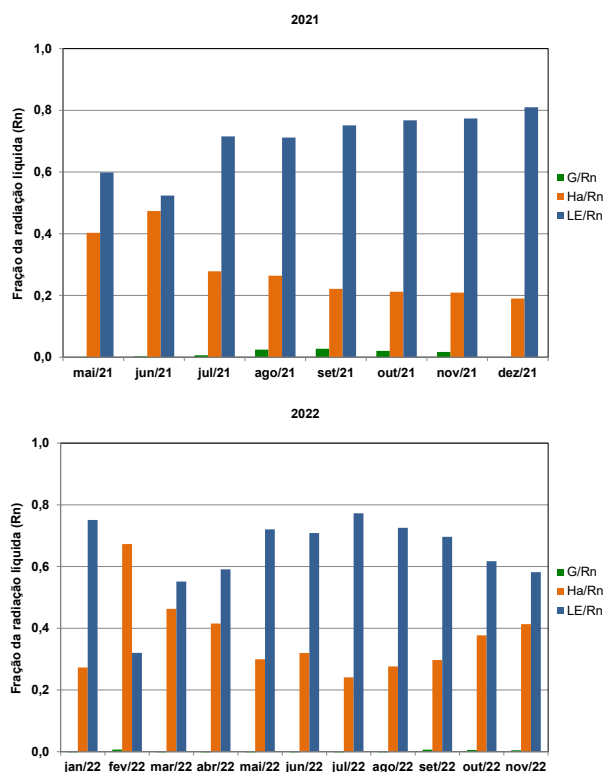


Figura 7. Médias mensais de fração da radiação líquida (Rn) convertidas em densidade do fluxo de calor do solo (G), fluxo de calor sensível (Ha) e fluxo de calor latente (LE). Russas, CE, 2021–2022.

Esses valores são semelhantes aos obtidos por Gomes et al. (2015), de 80,5% para LE e 19,5% para Ha, e por Svierzoski et al. (2021), de 78,2% para LE e 21,2% para Ha, em área de pastagem em Rondônia, durante as estações úmida e seca, respectivamente.

Já em 2022, a fração da Rn convertida em Ha diminuiu entre os meses de junho e julho/2022, mas voltou a aumentar a partir de agosto, até valores de 0,38 a 0,41 em outubro-novembro/2022. Ou seja, em 2022 a fração da Rn convertida em LE (evapotranspiração) foi diminuindo ao longo dos meses de agosto-novembro/2022, de 73% para 58%. Em estudo realizado em pomar de cajueiro-anão não irrigado, utilizando o método da razão de Bowen, Fausto et al. (2016) observaram que LE e Ha representaram 71% e 26% da Rn, respectivamente, durante a estação seca.

Isso provavelmente ocorreu em virtude da não aplicação da irrigação e do déficit hídrico no solo observado o segundo semestre de 2022. Como consequência da redução da umidade do solo a níveis críticos, as plantas de cajueiro provavelmente reduziram a abertura dos estômatos e a taxa de

transpiração, fazendo com que uma maior quantidade da radiação absorvida (Rn) contribuísse para o aquecimento do ar, refletido no aumento do fluxo de calor sensível.

Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do cajueiro-anão

Na Figura 8, são apresentados os valores diários da evapotranspiração de referência (ET_0) e da evapotranspiração do cajueiro-anão (ET_c) em 2021 e 2022. Em 2021, a ET_0 variou de 2,1 a 6,1 mm d^{-1} , com valores mais altos nos meses de agosto a dezembro.

Com relação à evapotranspiração do cajueiro-anão (ET_c), os valores mais baixos em 2021 (mínimo de 1,3 mm d^{-1}) ocorreram na fase de crescimento vegetativo da cultura (maio-junho/2021). Como a coleta de dados de ET_c só foi iniciada em maio/2021, muito provavelmente valores ainda mais baixos ocorreram logo após a poda do cajueiro, feita em fevereiro/2021, quando a área foliar e a cobertura do solo das plantas eram mínimas. Nos meses de outubro a dezembro/2021, durante as fases de florescimento e frutificação do cajueiro-anão, foram observados os valores mais altos de ET_c ao longo do ciclo do cajueiro (máxima de 5,3 mm d^{-1}).

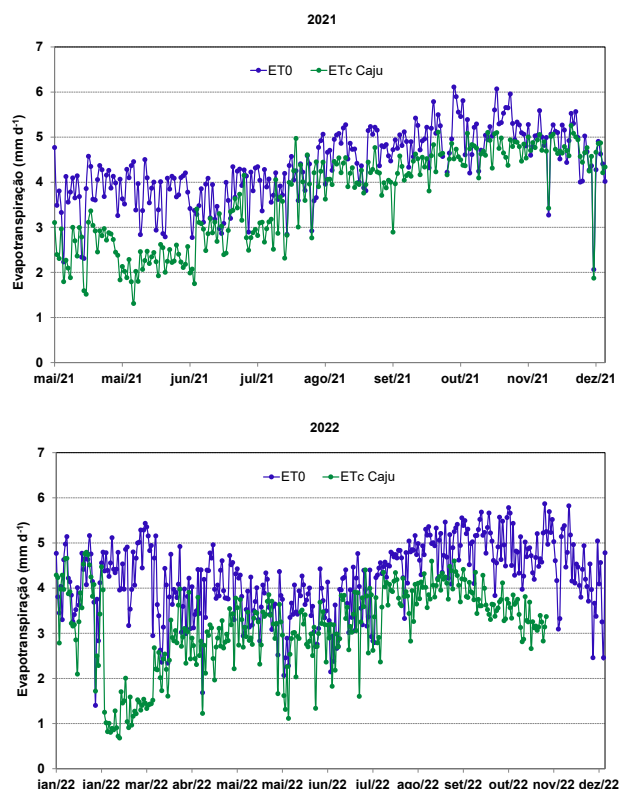


Figura 8. Variação diária da evapotranspiração de referência (ET_0) e da evapotranspiração do cajueiro-anão (ET_c) ao longo dos anos 2021 e 2022. Russas, CE.

No campo, observou-se que, a partir do início do florescimento, as plantas de cajueiro-anão permaneceram com flores e frutos em desenvolvimento durante todos os meses até a poda seguinte (fevereiro/2022), não sendo observada a fase final do ciclo, em que a ETc diminui próximo ou após a colheita dos frutos, a exemplo do que ocorre com outras fruteiras perenes, em que os frutos amadurecem numa mesma época.

Segundo Serrano (2016), alguns clones de cajueiro-anão podem emitir fluxos vegetativos continuamente em cultivo irrigado, sendo o 'CCP 76' um deles, tanto que é o mais cultivado para o mercado in natura nos perímetros irrigados, como, por exemplo, em Petrolina, PE. A floração do cajueiro está diretamente relacionada com os fluxos de crescimento vegetativo, sendo que ambos ocorrem simultaneamente em certos períodos e com diferentes intensidades. Na região Nordeste do Brasil, a floração do cajueiro ocorre preferencialmente durante a estação seca (a partir de junho). Desse modo, os períodos de máxima diferenciação floral e florescimento ocorrem entre os meses de junho e setembro, com pico de florescimento no mês de agosto. De modo geral, o período de florescimento perdura por aproximadamente 100 dias (julho a outubro). No entanto, alguns clones de cajueiro-anão podem florescer por até sete meses, principalmente sob irrigação.

Segundo Almeida et al. (2002), sob cultivo irrigado, o clone de cajueiro-anão 'CCP 76' pode apresentar as fenofases de floração e frutificação de forma contínua, só sendo interrompidas caso ocorra um novo período com precipitações.

Em 2022, a evapotranspiração de referência (ET_0) variou de 1,3 a 5,9 mm d⁻¹, com valores mais altos nos meses de agosto a dezembro e valores mais baixos nos meses de maio e junho. A ETc variou de 0,9 mm d⁻¹, nos dias seguintes à poda do cajueiro-anão em fevereiro/2022, até valores máximos acima de 4,0 mm d⁻¹ (até 4,6 mm d⁻¹) na fase de frutificação do cajueiro-anão em setembro/2022. No entanto, muito provavelmente valores mais altos de ETc poderiam ter sido alcançados nos meses de setembro-novembro/2022, caso a cultura estivesse sendo irrigada e o nível de água disponível no solo fosse adequado, como ocorreu em 2021.

As fases de florescimento e frutificação são as que apresentam as maiores taxas de evapotranspiração, sendo elas as mais sensíveis ao déficit hídrico no solo (Allen et al., 1998; Oguntunde, 2007). Enquanto na fase vegetativa os fotoassimilados produzidos nas folhas são translocados principalmente para a formação de novos ramos e novas raízes, nas fases de florescimento e frutificação ocorre uma

mudança da relação fonte-dreno na planta, com os fotoassimilados sendo translocados prioritariamente para promover o desenvolvimento de flores e frutos. Nessa fase, qualquer limitação na evapotranspiração da cultura, causada, por exemplo, pelo déficit hídrico no solo, afetará significativamente sua produtividade.

Segundo Sena et al. (2007), sob condições de déficit hídrico no solo, o cajueiro se comporta de forma semelhante à goiabeira (*Psidium guajava* L.) e à seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. – Arg.), apresentando menor resistência estomática e maior transpiração em relação ao cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e ao guaraná (*Paullinia cupana* Kunth); porém, sendo mais tolerante à seca, o que foi atribuído à maior profundidade do sistema radicular.

Os resultados de pesquisa publicados acerca da evapotranspiração do cajueiro irrigado são limitados (Carr, 2014). Blaikie et al. (2001) mediram o fluxo de seiva de plantas adultas de cajueiro-anão (cv. BLA 273) irrigado na Austrália e registraram volumes diários de transpiração na faixa de 20 a 28 L d⁻¹ por planta, equivalente a lâminas de 0,50 a 0,56 mm d⁻¹. Utilizando a mesma técnica em pomar com plantas de cajueiro não irrigadas, com quatro anos de idade e 25% de cobertura do solo, Oguntunde (2007) observou valores de transpiração diária de 21 a 53 L planta dia⁻¹ (0,37 a 0,93 mm d⁻¹), durante a estação seca. Os autores observaram uma redução significativa da transpiração das plantas de cajueiro durante as fases de floração e frutificação à medida que a umidade do solo diminuiu após a estação chuvosa.

Em outro estudo realizado em Gana, Oguntunde et al. (2004) determinaram a transpiração (T) de plantas jovens de cajueiro não irrigadas, por meio de medições do fluxo de seiva do caule, e a evapotranspiração da cultura (ET), utilizando o método do balanço de energia com o H_a determinado com a técnica de covariância de vórtices turbulentos. Enquanto os valores T variaram de 0,55 a 0,72 mm d⁻¹ (média de 0,65 mm d⁻¹), a ET variou de 2,01 a 3,17 mm d⁻¹ (média de 2,7 mm d⁻¹). Ou seja, a transpiração dos cajueiros representou apenas 25% da evapotranspiração da cultura. Considerando-se que a fração da superfície do solo coberta pelos cajueiros foi de somente 30% e que foram plantadas nas entrelinhas culturas anuais, como milho (*Zea mays*) e feijão-fradinho (*Vigna unguiculata*), além das plantas daninhas, a contribuição relativa dos cajueiros para a evapotranspiração foi pequena em comparação com a vegetação das entrelinhas. Segundo os autores, em plantios adensados, a transpiração das árvores pode ser responsável por cerca de 90% da

evapotranspiração, enquanto que em plantios com árvores espaçadas ou quando as plantas são podadas drasticamente, as perdas de água por evaporação da vegetação nativa, do solo e da serrapilheira oriunda da poda podem se tornar o principal componente da ET.

Utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens multiespectrais de satélites Landsat 8 em um pomar de cajueiro não irrigado com 10 anos de idade na Índia, Mangalasserry e Nayak (2018) estimaram valores de ETc variando de 2,01 a 3,69 mm d⁻¹; porém, os autores não informaram qual a fração da superfície do solo coberta pelas copas dos cajueiros.

Segundo Schaper et al. (1996), a redução da ETc em plantas de cajueiro não irrigadas, em relação às irrigadas, somente se torna mais evidente após o florescimento, cerca de dois ou três meses após o término da estação chuvosa, e está associada à redução da condutância estomática. Segundo os autores, para as condições edafoclimáticas e os genótipos utilizados na Austrália, a irrigação do cajueiro pode ser realizada somente no período entre o florescimento e a colheita, sem prejuízo para a produtividade da cultura.

Em Pacajus, CE, Miranda et al. (2021) não observaram diferenças significativas de produtividade entre plantas de cajueiro-anão dos clones 'BRS 189', 'BRS 226' e 'CCP 76' irrigadas com lâmina equivalente a 100% da ETc, apenas entre a floração e o final da colheita, e plantas irrigadas com reposição de 100% da ETc durante todo o período seco, sendo ambos os tratamentos superiores ao tratamento não irrigado.

Na Figura 9, são apresentados os dados de fração de cobertura do solo e coeficientes de cultivo (Kc) do cajueiro-anão. Em 2021, como a poda foi realizada no mês de fevereiro e o registro de dados de ETc somente foi iniciado em maio, não foi possível determinar os valores de Kc na fase inicial de desenvolvimento do cajueiro.

Durante a fase de crescimento vegetativo do cajueiro-anão em 2021, os valores diários de Kc aumentaram de cerca de 0,4 no mês de maio/2021 até 0,92 no final de julho/2021, seguindo o aumento da fração da superfície do solo coberta pela cultura e, consequentemente, da área foliar das plantas.

Esses valores foram semelhantes aos obtidos por Gondim et al. (2020) durante a fase vegetativa de plantas jovens de cajueiro (até um ano de idade) do clone 'BRS 226' (0,29 a 0,87), utilizando o método de balanço hídrico no solo.

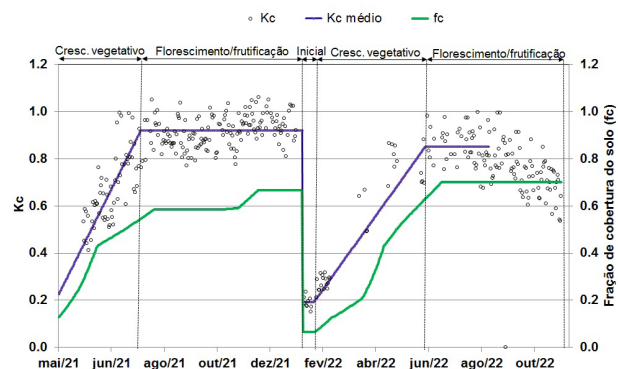


Figura 9. Coeficientes de cultivo (Kc) e fração de cobertura do solo (fc) do cajueiro-anão irrigado. Russas, 2021-2022.

Ao longo da fase de florescimento/frutificação do cajueiro-anão, do início agosto/2021 até a poda de manutenção seguinte (fevereiro/2022), os valores de Kc variaram entre 0,76 a 1,06, com média de $0,92 \pm 0,07$. Ao contrário de outras espécies frutíferas, como citros, manga e outras, o cajueiro-anão irrigado não apresentou diminuição dos valores de Kc no final do ciclo reprodutivo, pois as plantas permaneceram emitindo flores e desenvolvendo frutos até a poda da safra seguinte.

A fase inicial de desenvolvimento do cajueiro-anão após a poda em 2022 durou 16 dias, em que a fração de cobertura do solo permaneceu baixa (0,07) e os valores de Kc variaram de 0,15 a 0,24 (média de $0,20 \pm 0,03$). Daí em diante, durante a fase de crescimento vegetativo, no período de fevereiro a junho/2022, os valores de Kc diários aumentaram de 0,22 até cerca de 0,80 no final de junho/2022, seguindo o aumento da fração de cobertura do solo de 0,07 até 0,70. Na fase de florescimento/frutificação, entre o final de junho e agosto/2022, o Kc médio do cajueiro-anão foi de $0,85 \pm 0,08$.

Esse menor valor de Kc nas fases de florescimento e frutificação de 2022, em relação ao Kc médio observado na mesma fase em 2021, pode ser explicado pelo déficit hídrico no solo em virtude da não aplicação da irrigação na estação seca. Ao contrário da safra 2021, quando os valores de Kc do cajueiro-anão permaneceram altos durante todo o segundo semestre até a poda da safra seguinte, os valores de Kc do cajueiro-anão começaram a diminuir a partir de agosto/2022, chegando a valores próximos a 0,54 no final de novembro/2022.

A evapotranspiração da cultura sob condições-padrão (ETc), a qual é utilizada no cálculo do Kc, é a evapotranspiração de culturas bem fertilizadas e livres de doenças, cultivadas em grandes campos, sob condições ótimas de água no solo e alcançando

produção total sob determinadas condições climáticas (Allen et al., 1998). Como no presente estudo as condições ótimas de água no solo não foram observadas durante a estação seca de 2022, os dados de Kc do cajueiro-anão daquele período não foram considerados para efeito de recomendação para o cajueiro-anão irrigado.

Na Tabela 3, é apresentado um resumo dos resultados obtidos para o cajueiro-anão irrigado, clone 'CCP 76', em termos da duração das fases fenológicas, ETc, ET₀ e coeficientes de cultivo. Combinando-se os dados de 2021 (maio-dezembro)

e de 2022 (janeiro-abril), a ETc acumulada de plantas adultas de cajueiro-anão irrigado e adensado (6 m x 2 m), em Russas, CE, entre duas podas de manutenção consecutivas, foi de 1.216 mm (média de 3,33 mm d⁻¹). Imediatamente após a poda drástica, na fase inicial, a ETc média foi de apenas 1,12 mm d⁻¹, enquanto que nas fases fenológicas de maior consumo de água (florescimento e frutificação) a ETc média foi de 4,07 mm d⁻¹. Observou-se que 67% da ETc anual do cajueiro (810 mm) ocorreram na estação seca, entre o início do florescimento e o final da frutificação da safra 2021.

Tabela 3. Duração das fases fenológicas, evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração de referência (ET₀) e coeficientes de cultivo (Kc) do cajueiro-anão irrigado. Russas, CE, 2021–2022.

Fase fenológica	Duração (dias)	ETc (mm)	ET ₀ (mm)	Kc médio
Inicial	16	17,9	89,5	0,20 ± 0,03
Crescimento vegetativo	135	328,2	522,7	0,21 a 0,91
Florescimento/frutificação	214	870,3	946,0	0,92 ± 0,07
Total	365	1.216,4	1.558,2	–

± Desvio-padrão.

Os valores de Kc recomendados até o momento pela Embrapa para plantios de cajueiro-anão irrigado com 10% e 65% de cobertura do solo, que poderiam ser comparados com as frações de cobertura do solo observadas na fase inicial (logo após a poda de manutenção) e de florescimento e frutificação no presente estudo, são de 0,40 e 0,65, respectivamente (Miranda et al., 2013). No entanto, esses valores de Kc não foram determinados em pesquisas no campo, sendo ajustados a partir de valores de Kc recomendados para outras fruteiras irrigadas, como a mangueira (Saunders et al., 1995).

Os documentos de Irrigação e Drenagem da FAO (Allen et al., 1998) não trazem recomendações de valores de Kc para o cajueiro. No entanto, em comparação com outras espécies frutíferas, o valor de Kc observado no presente estudo nas fases de florescimento e frutificação do cajueiro-anão (0,92) foi semelhante aos valores de Kc recomendados pela FAO e por Rallo et al. (2021), na mesma fenofase, para a mangueira (0,90), a macieira (0,95), o cafeeiro (0,95) e o pessegueiro (0,90), e maior do que os valores de Kc recomendados para citros (0,65).

Conclusões

A evapotranspiração (ETc) média de plantas adultas de cajueiro-anão irrigado, clone 'CCP 76', em plantio adensado (espaçamento 6 x 2 m) na

região semiárida de Russas, CE, varia de 1,1 mm d⁻¹ na fase inicial, após a poda de produção, até 4,1 mm d⁻¹ na fases concomitantes de florescimento e frutificação.

Em plantas de cajueiro-anão irrigado, a relação entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ET₀) se mantém praticamente constante durante toda a fase de florescimento e frutificação.

Os valores médios de coeficiente de cultivo (Kc) são de 0,20 na fase inicial após a poda, de 0,21 a 0,91 durante a fase de crescimento vegetativo e de 0,92 nas fases de florescimento e frutificação.

Em plantas não irrigadas, a relação ETc/ET₀ é menor do que em plantas irrigadas e tende a diminuir ainda mais a partir do terceiro mês após o início do florescimento, que coincide com os períodos mais secos no semiárido.

Agradecimentos

Aos proprietários e técnicos da empresa Frutacor pelo apoio na realização dos trabalhos de campo; e ao Programa Cientista-chefe em Agricultura do Governo do Estado do Ceará (Convênio 14/2022 SDE/Adece/Funcap e Processo 08126425/2020/Funcap) pelo suporte financeiro para a realização da pesquisa.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage, n. 56). Disponível em: <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.htm>. Acesso em: 22 jul. 2023.
- ALMEIDA, F. A. G.; MARTINS JUNIOR, W.; ALMEIDA, F. C. G. Fenologia comparativa de dois clones enxertados de cajueiro-anão em condições de irrigação. **Ciência Rural**, v. 32, n. 2, p. 221-228, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/C5s6tWWTyclrTVMvDFMGJ5r/?lang=pt>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- BLAIKIE, S. J.; CHACKO, E. K.; LU, P.; MÜLLER, W. J. Productivity and water relations of field-grown cashew: a comparison of sprinkler and drip irrigation. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, n. 5, p. 663-673, 2001. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/an/EA00158>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- BONI, G.; COSTA, C. A. G.; GONDIM, R. S.; MONTENEGRO, A. A. T.; OLIVEIRA, V. H. Distribuição do sistema radicular do cajueiro-anão precoce (clone CCP-09) em cultivo irrigado e sequeiro, Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 1-6, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/83753>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- CARMO, J. F. A.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; LEITAO, M. M. V. B. R. Balanço de energia e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar por dois métodos micrometeorológicos. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 101-111, 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1075029/1/Magna3.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of cashew (*Anacardium occidentale* L.): a review. **Experimental Agriculture**, v. 50, n. 1, p. 24-39, 2014. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/abs/water-relations-and-irrigation-requirements-of-cashew-anacardium-occidentale-l-a-review/B0851C853D0F16BA9BA5C21603AB6A6E>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- 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, n. 6-7, p. 1147-1160, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192308000713>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- CRISÓSTOMO, L. A. Clima, solo, nutrição mineral e adubação para o cajueiro-anão precoce. In: ARAÚJO, J. P. P. de (ed.). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 43-59.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage, n. 33).
- FAUSTO, M. A.; SANTOS, A. C. A.; SILVA, H.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; LOBO, F. A. Componentes do balanço de energia estimados por meio do método da razão de Bowen em um pomar de caju. **Ambiência**, v. 12, n. 1, p. 119-126, 2016. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3123/pdf>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 449-453, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/rg7Jt5ft4p8swkWWFmXPwMj/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- GOMES, J. B.; WEBLER, A. D.; AGUIAR, R. G.; AGUIAR, L. J. G.; NUÑES, M. L. A. Conversão de florestas tropicais em sistemas pecuários na Amazônia: quais as implicações no microclima da região? **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 67-81, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42879>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- GONDIM, R. S.; SERRANO, L. A. L.; SILVA, J. P.; ARAÚJO, T. A. A. **Necessidade hídrica na implantação de pomar do clone BRS 226 de cajueiro-anão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2020. 18 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 200). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1122356>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- GOOGLE EARTH PRO. **Satelite**: Digital Globe. Acesso em: 19 jul. 2022.
- MANGALASSERRY, S.; NAYAK, M. G. Geospatial technologies for assessing seasonal variability in crop coefficient for efficient irrigation scheduling in cashew. **Proceedings of the National Conference on Application of Geo-spatial technologies and ICTs in smart agriculture (SMARTAGRI-2018)** (ed.). PATIL, P. L.; DASOG, G. S.; BIRADAR, D. P.; PARTIL, V. C.; ALADAKATTI, Y. R. University of Agricultural Sciences, Dharwad and Indian Society of Agricultural Information Technology, 23-24, 2018, p. 10-15. Disponível em: <https://krishi.icar.gov.in/jspui/handle/123456789/22675>. Acesso em: 21 jul. 2023.

- MIRANDA, F. R.; GONDIM, R. S.; OLIVEIRA, V. H. **Irrigação em cajueiro-anão precoce**. 2. Ed. rev. ampl. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013. 30 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 16). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/981663>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- MIRANDA, F. R.; LUZ, H. I. H.; ROCHA, A. B. S.; GUIMARÃES, V. B. **Produção de clones de cajueiro-anão sob diferentes estratégias de irrigação deficitária**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2021. 30 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 226). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1137992>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- MONTENEGRO, A. A. T.; MIRANDA, F. R.; MOREIRA, F. V. O.; SILVA, R. V. M.; SANTOS, F. J. R. **Produtividade de clones de cajueiro-anão cultivados em sistemas superadensados no segundo ano de cultivo**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2021. 28 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 220). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1133184>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- OGUNTUNDE, P. G.; VAN DE GIESEN, N. C.; VLEK, P. L. G.; EGGERS, H. Water flux in a cashew orchard during a wet-to-dry transition period: analysis of sap flow and eddy correlation measurements. **Earth Interactions**, v. 8, n. 15, p. 1-17, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1087-3562\(2004\)8<1:WFIACO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1087-3562(2004)8<1:WFIACO>2.0.CO;2). Acesso em: 21 jul. 2023.
- OGUNTUNDE, P. G. Water use pattern and canopy processes of cashew trees during a drying period in West Africa. **International Journal of Plant Production**, v. 1, n. 1, p. 85-98, 2007. Disponível em: https://ijpp.gau.ac.ir/article_528.html. Acesso em: 21 jul. 2023.
- OLIVEIRA, V. H.; CRISÓSTOMO, L. A.; MIRANDA, F. R.; ALMEIDA, J. H. S. **Produtividade de clones comerciais de cajueiro anão-precoce (*Anacardium occidentale* L.) irrigados no município de Mossoró-RN**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1998. 6 p. (Embrapa-CNPAT. Comunicado técnico, 14). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/422575/produtividade-de-clones-comerciais-de-cajueiro-anao-precoce-anacardium-occidentale-l-irrigados-no-municipio-de-mossoro-rn>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- OLIVEIRA, V. H.; MIRANDA, F. R.; LIMA, R. N.; CAVALCANTE, R. R. R. Effect of irrigation frequency on cashew nut yield in Northeast Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 108, n. 4, p. 403-407, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030442380600077X>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- PEREIRA, L. S.; PAREDES, P.; MELTON, F.; JOHNSON, L.; WANG, T.; LÓPEZ-URREA, R.; CANCELA, J. J.; ALLEN, R. G. Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height. Background and validation using ground and remote sensing data. **Agricultural Water Management**, v. 241, p. 106-197, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106197>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- RALLO, G.; PAÇO, T. A.; PAREDES, P.; PUIG-SIRERA, À.; MASSAI, R.; PROVENZANO, G.; PEREIRA, L. S. Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops. **Agricultural Water Management**, v. 250, 106645, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420321892>. Acesso em: 23 jul. 2023.
- SAUNDERS, L. C. U.; OLIVEIRA, V. H.; PARENTE, J. I. G. **Irrigação em cajueiro-anão precoce**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995. 28 p. (EMBRAPA-CNPAT, Documentos, 16). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/419676>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- SENA, J. O. A.; ZAIDAN, H. A.; CASTRO, P. R. C. Transpiration and stomatal resistance variations of perennial tropical crops under soil water availability conditions and water deficit. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 50, n. 2, p. 225-230, 2007.
- SERRANO, L. A. L. Fenologia do cajueiro. In: **Sistema de Produção do Caju**, 2. Ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2016. Versão eletrônica (Embrapa Agroindústria Tropical. Sistema de produção, 1). Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasde-producao6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7705&p_r_p_-996514994_topicoId=10310. Acesso em: 23 jul. 2023.
- SILVA, T. G. F. da; MOURA, M. S. B. de; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. de S.; GOMES JÚNIOR, W. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/rbeaa/a/KCBBGMfXPpctD87BRV6vrb/>. Acesso em: 23 jul. 2023.
- SOUZA, R. P.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic responses of young cashew plants to varying environmental conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 8, p. 735-744, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pab/a/wdxxZZRxpjPjvb3bfWmkmz/?lang=en>. Acesso em: 23 jul. 2023.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C. Maize canopies under two soil water regimes.: I. Diurnal patterns of energy balance, carbon dioxide flux, and canopy conductance. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 89, p. 169-184, 1998. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192397000853>. Acesso em: 23 jul. 2023.

SVIERZOSKI, N. D. S.; LOPES, A. G.; RUEZZENE, C. B.; GOMES, J. B.; WEBLER, A. D. Componentes do balanço de energia em área de pastagem na Amazônia Ocidental. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 19683-19694. 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/25259>. Acesso em: 23 jul. 2023.

SWANN, A. L. S.; LONGO, M.; KNOX, R. G.; LEE, E.; MOORCROFT, P. R. Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 214-215, p. 12-24, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192315002130>. Acesso em: 23 jul. 2023.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 94, p. 31-42, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377407001953>. Acesso em: 23 jul. 2023.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M. Five methods for interpret field measurements of energy fluxes over a micro-sprinkler irrigated mango orchard. **Irrigation Science**, v. 30, p. 13-28, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00271-010-0256-y>. Acesso em: 23 jul. 2023.

VIANA, T. V. A.; LIMA, A. D.; MARINHO, A. B.; DUARTE, J. M. L.; AZEVEDO, B. M.; COSTA, S. C. Lâminas de irrigação e coberturas do solo na cultura do girasol sob condições semiáridas. **Irriga**, v. 17, n. 2, p. 126-136, 2012. Disponível em: <https://actaarborea.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/505/265>. Acesso em: 23 jul. 2023.