O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano V | Volume 16 | Nº 48 | Boa Vista | 2023

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.10445820

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

SIMULAÇÃO DE PLANTIO PARA ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTURA DO TOMATEIRO IRRIGADO SEGUNDO A METODOLOGIA DA FAO-56

Andresa da Silva Pereira[1]

Wady Lima Castro Júnior[2]

Oswaldo Palma Lopes Sobrinho[3]

Marconi Batista Teixeira[4]

Resumo

Estudos sobre a evapotranspiração (ET), bem como valores precisos do coeficiente da cultura (Kc) são importantes para o manejo de água na irrigação, planejamento agrícola e dos recursos hídricos. Com base na implementação de um procedimento automatizado em planilha eletrônica, o objetivo deste estudo foi estimar o coeficiente de cultura local (Kc dual) do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), por meio da metodologia da Organização para a Alimentação e Agricultura – FAO (Boletim-56) em cultivo irrigado com o sistema de gotejamento. Foi realizado uma simulação de plantio para a estimativa do Kc do tomateiro e os dados meteorológicos (temperatura média do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar) foram obtidos da estação agrometeorológica automática, instalada no campo experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, localizada no município de Codó, MA. A estimativa da evapotranspiração de cultura (ETc) foi realizada empregando a metodologia padrão de Penman-Monteith (PM) com auxílio do software Ref-ET®. Quanto a estimativa dos Kc foi utilizada a planilha eletrônica Microsoft Excel 2010® conforme as instruções contidas no Anexo 8 do Boletim da FAO-56. A evapotranspiração da cultura (ETc) do tomateiro irrigado foi de 506,53 mm para todo o ciclo, o que corresponde a um valor médio de 3,75 mm dia^{-1}. Os valores de Kc encontrados para o tomateiro irrigado nas condições edafoclimáticas em Codó, MA foram: 0,15 (inicial); 0,15 – 1,01 (desenvolvimento); 1,01 (produção) e 1,01- 0,66 (final).

Palavras-chave: Agrometeorologia; Estádio Fenológico; Evapotranspiração; Irrigação Localizada; *Solanum lycopersicum* L.

Abstract

Studies on evapotranspiration (ET) as well as accurate crop coefficient (cc) values are important for irrigation water management, agricultural planning and water resources. The objective of this study was to estimate the local crop coefficient (dual cc) of tomato (*Solanum lycopersicum* L.), using the methodology of the Food and Agriculture Organization – FAO (Bulletin-56) in irrigated cultivation with the drip system. A planting simulation was carried out to estimate tomato cc and meteorological data (average air temperature, relative air humidity, wind speed and solar radiation) were obtained from the automatic agrometeorological station, installed in the experimental field of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Maranhão, located in the municipality of Codó, MA. The evapotranspiration estimate was performed based on the standard Penman-Monteith (PM) methodology with the aid of the Ref-ET® software. As for the cc estimate, the Microsoft Excel 2010® spreadsheet was used according to the instructions contained in Annex 8 of the FAO Bulletin – 56. The evapotranspiration of irrigated tomato was 506.53 mm for the entire crop cycle, which corresponds to an average value of 3.75 mm day^{-1}. The cc values found for irrigated tomato under edaphoclimatic conditions in Codó, MA were: 0.15 (initial); 0.15 – 1.01 (development); 1.01 (production) and 1.01-0.66 (final).

Keywords: Agrometeorology; Evapotranspiration; Localized Irrigation; Phenological Stage; *Solanum lycopersicum* L.

[1] Graduada em Engenharia Agronômica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA). E-mail: andresasz@hotmail.com

[2] Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA). Doutor em Engenharia Agronômica pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). E-mail: wadycastro@ifma.edu.br

[3] Doutorando em Ciências Agrárias pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano). E-mail: engenheirooswaldopalma@gmail.com

[4] Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano). Doutor em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". E-mail: marconi.teixeira@ifgoiano.edu.br

INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada desempenha um papel importante na garantia da segurança alimentar global especialmente em regiões onde as condições climáticas apresentam desafios significativos para o cultivo de culturas de alto valor como o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.). Nessa perspectiva, a estimativa precisa do coeficiente de cultura (Kc) é importante para otimizar a gestão da irrigação e maximizar a eficiência no uso da água.

A metodologia do Kc dual da FAO-56 se destaca por sua abordagem abrangente, que considera as diferentes fases de desenvolvimento da cultura e os estádios específicos de crescimento, permitindo uma estimativa mais precisa das necessidades hídricas ao longo do ciclo de vida do tomateiro. Ao aplicar essa metodologia em conjunto com um sistema de gotejamento, buscou-se otimizar a distribuição de água, promovendo uma gestão sustentável e eficiente dos recursos hídricos. Essa metodologia contribui para evitar sub ou super irrigação, minimizando desperdícios e garantindo que a quantidade adequada de água seja fornecida à cultura em cada estádio de desenvolvimento. Isso não apenas promove a eficiência no uso da água, mas também pode influenciar positivamente a produtividade e a qualidade dos frutos.

O coeficiente de cultura dual (Kc dual) é uma abordagem inovadora que integra diferentes valores de Kc ao longo das fases de desenvolvimento da cultura, considerando tanto o crescimento vegetativo quanto o reprodutivo. Esse conceito visa capturar as variações nas necessidades hídricas das plantas em diferentes estágios de crescimento, oferecendo uma representação mais precisa e dinâmica do consumo de água ao longo do ciclo de vida da cultura.

Sua importância na gestão eficiente da irrigação em culturas de tomateiro está relacionada à sua capacidade de proporcionar uma estimativa mais precisa das demandas hídricas em momentos específicos do desenvolvimento da planta. Ao considerar as diferentes fases, como o crescimento vegetativo inicial, a floração e o amadurecimento dos frutos, o Kc dual permite ajustes precisos na aplicação de água, otimizando o uso dos recursos hídricos disponíveis.

A implementação do procedimento automatizado em planilha eletrônica representa uma contribuição significativa, tornando mais acessível e prático o cálculo do Kc dual para agricultores e pesquisadores. A automação desse processo não apenas agiliza a obtenção dos resultados, mas também reduz a possibilidade de erros, proporcionando uma ferramenta confiável para a tomada de decisões relacionadas à irrigação no cultivo do tomateiro.

Ao avançar no entendimento do comportamento hídrico do tomateiro em sistemas de gotejamento este estudo contribui para a sustentabilidade da produção agrícola, promovendo práticas

mais eficientes e econômicas. Os resultados obtidos podem servir como base para o desenvolvimento de estratégias adaptativas em resposta às variações climáticas e auxiliar na busca por soluções inovadoras para os desafios enfrentados pela agricultura irrigada.

O cultivo irrigado com o sistema de gotejamento representa uma abordagem avançada e eficiente na agricultura contemporânea trazendo consigo diversas nuances e implicações práticas que contribuem para o sucesso das práticas agrícolas. Como principais características e implicações deste sistema de irrigação têm-se: eficiência no uso da água, economia de recursos, controle preciso da irrigação, redução de doenças, pragas e plantas daninhas, adaptação a diferentes tipos de solo, automatização e monitoramento e melhoria na qualidade e produtividade.

A proposta deste texto foi abordar a estimativa do coeficiente de cultura local (Kc dual) do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), por meio da metodologia da Organização para a Alimentação e Agricultura – FAO (Boletim-56) em cultivo irrigado com o sistema de gotejamento. Para atingir esse objetivo, implementou-se um procedimento automatizado em planilha eletrônica, utilizando a metodologia preconizada pela FAO-56).

O percurso metodológico se deu com a obtenção de dados meteorológicos (temperatura média do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar) em base diária da Estação Meteorológica Automática, instalada no Campo Experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, no município de Codó, MA. De posse dos dados, utilizou-se a metodologia padrão da FAO-56 de PM para o cálculo da ETo diária e a estimativa dos Kc e definição da duração dos estádios fenológicos do tomateiro classificados como: inicial, desenvolvimento, médio e final utilizou-se um procedimento automatizado em planilha eletrônica *Microsoft Excel*® 2010 baseada nas instruções contidas no Anexo 8 do Boletim da FAO-56.

O presente estudo fundamenta-se em diversas áreas, incluindo a agricultura irrigada, gestão hídrica, tecnologia agrícola e modelagem de culturas. A interseção desses domínios de conhecimento revelou-se importante para realizar uma análise abrangente sobre o coeficiente de cultura (Kc dual) do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) em ambientes de cultivo irrigado com o sistema de gotejamento, utilizando a metodologia preconizada pela FAO no Boletim-56.

A estrutura do estudo é delineada em seções distintas que visa abordar aspectos específicos relacionados à aplicação da metodologia do Kc dual. Inicialmente, explorou-se detalhadamente o conceito do Kc dual e sua importância na gestão eficiente da irrigação em culturas de tomateiro. Em seguida, examinou as nuances do cultivo irrigado com o sistema de gotejamento destacando as implicações práticas dessa abordagem na agricultura contemporânea. O estudo também se aprofundou na implementação de um procedimento automatizado em planilha eletrônica para estimar o Kc dual

visando tornar mais acessível e prática a aplicação dessa metodologia para agricultores e pesquisadores. Considerou-se as potenciais barreiras e desafios nesse processo buscando soluções eficazes que contribuam para a precisão e confiabilidade das estimativas.

Ao almejar o aprimoramento da gestão da irrigação no cultivo do tomateiro, o presente estudo visa fornecer informações valiosas para a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes. A expectativa é que os resultados obtidos possam contribuir significativamente para o avanço da agricultura irrigada fomentando discussões e abrindo caminhos para a implementação de estratégias inovadoras no manejo da água e no cultivo do tomateiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos como: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar em base diária foram obtidos na Estação Meteorológica Automática, instalada no Campo Experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), localizada no município de Codó, na região dos cocais maranhenses com as coordenadas geográficas (4°26'51" S, 43°52' 57" O, 48 m de altitude) (IBGE, 2023). A coleta de dados meteorológicos corresponde ao ano de 2019.

O município de Codó possui uma extensão territorial de 4.361,606 km² e a região se encontra em uma zona de transição dos biomas Cerrado, Amazônia e Caatinga (IBGE, 2021). O solo da área é classificado como Neossolo Quartzarênico (SANTOS *et al*., 2018). Conforme a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região é do tipo Aw – megatérmico úmido e subúmido de inverno seco; precipitação total média anual de 1.526 mm e temperatura média anual de 27 °C; e a máxima, de 36 °C (LIMA, 1998; KOTTEK *et al*., 2006; CORREIA FILHO, 2011).

Evapotranspiração de referência

Para o cálculo de da ETo utilizou-se a metodologia padrão da FAO-56 de Penman-Monteith, que considera uma grama de referência hipotética com 0,12 m de altura, resistência de superfície de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23 (ALLEN *et al*., 1998) conforme a Equação 1:

$$ET_o = \frac{0{,}408\Delta(R_n - G) + \left(\gamma \frac{900}{T+273}\right) U_2 (e_s - e)}{\Delta + [\gamma(1 + 0{,}34U_2)]} \qquad (1)$$

Em que,

ETo = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

Δ = declinação da curva de saturação do vapor da água (kPa $°C^{-1}$);

R_n = saldo de radiação total diário (MJ m^{-2} dia^{-1});

G = densidade do fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} dia^{-1});

γ = constante psicrométrica (kPa $°C^{-1}$);

T = temperatura do ar média diária (°C);

U_2 = velocidade do vento média diária a 2 m de altura (m s^{-1});

e_s = pressão de saturação do vapor da água na atmosfera (kPa);

e_a = pressão atual do vapor da água na atmosfera (kPa).

Utilizou-se o *software Reference Evapotranspiration Calculation* (RefET®) empregando a metodologia de Allen (2000) para o cálculo da ETo diária.

Coeficiente de cultura dual (Kc dual)

Allen *et al*., (1998) consideram a estimativa do Kc dual como o método de maior eficiência por causa da combinação dos efeitos da transpiração da cultura e da evaporação do solo em um Kc único. Separadamente, o Kc dual foi determinado utilizando-se os coeficientes Kcb que descreve a transpiração das plantas e o Ke que descreve a evaporação ocorrida na superfície do solo. Portanto, o Kc dual foi obtido pela Equação 2:

$$Kc = Kcb + Ke \quad (2)$$

Em que,

Kc = coeficiente da cultura (adimensional);

Kcb = coeficiente de cultura basal (adimensional);

Ke = coeficiente de evaporação de água do solo (adimensional).

Para a estimativa dos Kc e definição da duração dos estádios fenológicos do tomateiro classificados como: inicial, desenvolvimento, médio e final utilizou-se um procedimento automatizado em planilha eletrônica *Microsoft Excel*® 2010 baseada nas instruções contidas no Anexo 8 do Boletim da FAO-56. O período de análise foi de 135 dias, que corresponde ao ciclo do tomateiro com início da simulação em 01 de maio de 2019 e a finalização no dia 12 de setembro de 2019.

Coeficiente de cultura basal (Kcb)

Allen *et al*., (1998) evidenciam que o coeficiente basal de cultura (Kcb) é obtido pela relação entre a ETc e a ETo quando a superfície do solo está seca, mas, a transpiração se mantém a uma taxa potencial. A duração do ciclo do tomateiro foi determinada em 135 dias, sendo a fase (I) inicial com duração de 30 dias; (II) desenvolvimento com 40 dias; (III) fase de produção com 40 dias; (IV) e fase final com 25 dias.

Para a obtenção dos Kcb do tomateiro levou-se em consideração os valores recomendados por Allen *et al*. (1998) para condições sem estresse, que foram: 0,15 para a fase inicial (I); 1,01 para a fase intermediária (III) e 0,66 para a fase final (IV). Para tanto, realizou-se os ajustes dos estádios intermediários e final às condições climáticas da região dos cocais maranhenses, em Codó, MA por meio da Equação 3:

$$K_{cb}=K_{cb(Tab)}+[0{,}04(U_2-2)-0{,}004(RHmin-45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (3)$$

Em que,

$k_{cb(Tab)}$ = valor para $K_{cb\ meio}$ ou $K_{cb\ final}$ (se ≥0,45) da Tabela 17 de Allen *et al*., (1998);

U_2 = velocidade do vento média diária a 2 m de altura (m s^{-1}) para intervalo de variação de 1 a 6 m s^{-1});

RH_{min} = umidade relativa do ar mínima, média diária % para intervalo de variação de 20 a 80%;

h = altura da cultura (m).

Coeficiente de evaporação do solo (Ke)

O coeficiente de evaporação do solo (Ke) representa a componente de evaporação da ETc. Com isso, o valor deste será máximo quando a superfície do solo estiver úmida após a ocorrência de chuva ou irrigação (ALLEN *et al*., 1998). Para a obtenção do Ke utilizou-se a Equação 4:

$$Ke = Kr\ (Kc_{max} - Kcb) \leq few\ Kc \quad (4)$$

Em que,

Ke = coeficiente de evaporação do solo (adimensional);

Kr = coeficiente de redução da evaporação (adimensional);

Kc_{max} = valor máximo de Kc após a chuva ou irrigação (adimensional);

f_{ew} = fração do solo exposta à radiação solar e molhada (1%);

Kc = coeficiente de cultura.

Os valores do Ke foram calculados com base nos valores de Kr, Kc_{max}, f_{ew} e Kc. Utilizou-se f_{ew} igual a 0,3, que é o valor recomendado para o sistema de irrigação por gotejamento (ALLEN *et al*., 1998). Para o cálculo do valor do Ke foi necessário calcular as variáveis Kr, Kc_{max} e f_{ew}.

a) Coeficiente de redução da evaporação (Kr)

Com base em Allen *et al*. (1998), a determinação do Kr foi considerada duas etapas: a) logo após uma chuva ou irrigação, a evaporação da superfície umedecida do solo ocorre à taxa máxima e depende somente da energia disponível. Assim, Kr = 1; e; b) a ocorrência de evaporação na superfície do solo limita a evaporação da água contida no perfil. Neste caso, o Kr foi calculado pela Equação 5:

$$Kr = \frac{TEW - De_{i-1}}{TEW - REW} \text{ para } De_{i-1} > REW \quad (5)$$

Em que,

Kr = coeficiente de redução da evaporação (adimensional);

TEW = lâmina máxima de água que pode ser evaporada do solo (mm);

De_{i-1} = lâmina de evaporação acumulada na camada superficial do solo até o final do dia anterior (mm);

REW = lâmina de evaporação acumulada até o final da fase 1 (mm).

No primeiro estádio, a energia incidente é que limita a evaporação, pois a superfície está molhada (após chuva ou irrigação); na segunda fase a água contida na superfície do solo se torna limitante para o processo evaporativo, o Kr decresce e torna-se zero quando a quantidade total de água evaporável da superfície do solo se extingue (TAVARES, 2012).

A lâmina de água máxima que pode ser evaporada do solo foi calculada por meio da Equação 6 (ALLEN *et al*., 1998):

$$TEW = 1000\ (\theta_{FC} - 0{,}5\ \theta_{WP})\ Z_e \quad (6)$$

Em que,

TEW = lâmina máxima de água que pode ser evaporada do solo (mm);

θ_{FC} = umidade do solo na capacidade de campo (m^3m^{-3});

θ_{WP} = umidade do solo no ponto de murcha permanente (m^3m^{-3});

Z_e = profundidade do solo sujeita à evaporação (0,10 m).

b) Kc max

O valor de Kc max representa o limite superior da evaporação e da transpiração que pode ocorrer em uma superfície cultivada (ALLEN *et al*., 1998) calculado pela Equação 7:

$$Kc\ max = max\left\{\left(1{,}2+\left[0{,}04(U_2-2)-0{,}004(RH_{min}-45)\right]\left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}\right](Kcb+0{,}5)\right\} \quad (7)$$

Em que,

h = altura média máxima durante os estádios de desenvolvimento (m);

Kcb = coeficiente basal de cultura;

Max = valor máximo dos parâmetros entre parênteses separados por vírgula.

Os valores de U_2, UR_{min} e h utilizados nesta equação são os mesmos utilizados para estimativa do Kcb.

c) F_{ew}

Refere-se à fração da superfície do solo molhada e exposta (f_{ew}), que define a percentagem da área cultivada mais suscetível ao processo evaporativo (PIZARRO, 1990) e foi obtida por meio da Equação 8:

$$few = min\{(1-fc),(fw)\} \quad (8)$$

Em que,

1 – fc = fração média de solo exposto não sombreado (0,01 a 1);

fw = fração média da superfície do solo molhada por irrigação ou chuva (0,01 a 1).

A fração do solo coberta por vegetação denomina-se *fc*. Quando não se dispõe de medições do valor de fc é estimada pela Equação 9 (ALLEN *et al*., 1998):

$$fc = \left(\frac{Kcb - Kc_{min}}{Kc_{max} - Kc_{min}}\right)^{(1+0,5h)} \quad (9)$$

Em que,

fc = fração efetiva da superfície do solo que se encontra coberta pela vegetação (0-0,99);
Kcb = valor do coeficiente basal de cultivo para um dia e período particular;
Kc_{min} = valor mínimo de Kc para solo sem cobertura e seco (≅ 0,15 a 0,20);
Kc_{max} = valor máximo de Kc imediatamente depois da chuva ou irrigação;
h = altura média da planta (m).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os 135 dias de simulação de plantio do tomateiro, a ETc foi de 506,53 mm enquanto, a ETo foi de 639,88 mm. Houve variação entre 6,06 a 1,39 mm dia^{-1} para a ETo e a média foi de 4,74 mm. A ETc estimada para o tomateiro obteve o valor mínimo diário de 0,53 mm e máximo de 6,74 mm. Na visão de Allen *et al*., (1998), a ETc se refere à evapotranspiração máxima potencial que uma cultura apresenta, sem restrição hídrica e em boas condições ambientais, nutricionais e fitossanitárias.

As fases de desenvolvimento e produção representam os estádios mais longos da cultura com duração de 40 dias, o que elevou a demanda hídrica nesses períodos com valores totais de 139,80 e 213,60 mm para ambos os estádios fenológicos. Para Taiz *et al*., (2017), a água é o recurso que mais limita o crescimento das plantas, seu déficit causa redução de diversas funções da planta e a expansão celular é a mais afetada reduzindo as taxas de crescimento do caule e foliar principalmente.

Alves Junior *et al*. (2021) destacam a influência significativa da temperatura média do ar no cultivo do tomateiro, observando que sua incidência total se manifesta quando a temperatura ultrapassa a marca de 22,20 ºC. Com isso, a elevação da temperatura para valores superiores a esse limiar emerge como um fator prejudicial ao crescimento e desenvolvimento da cultura do tomate. Neste viés, Alvarenga (2013) menciona que o tomateiro suporta ampla variação de temperatura, de 10 ºC a 34 ºC, o que explica a variação na exigência hídrica encontrada nesse estudo em relação a trabalhos de outros autores. Por outro lado, a fase inicial de desenvolvimento vegetativo do tomateiro resultou em menor valor de ETc com 26,65 mm conforme descrito na Tabela 1.

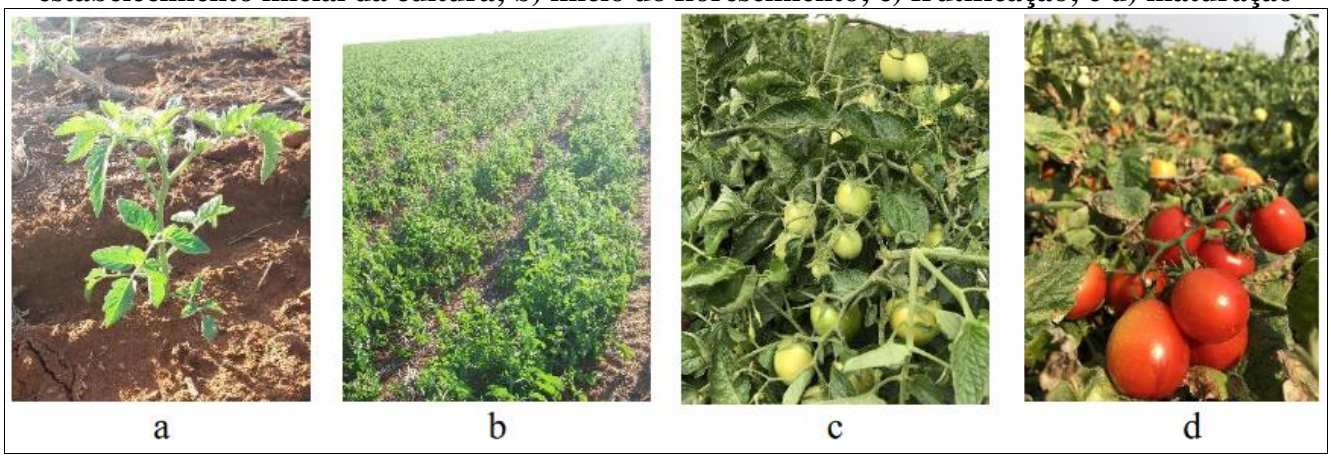
Tabela 1 - Duração (dias) dos estádios fenológicos, valores acumulados da evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração de referência (ETo) e coeficiente de cultura (Kc) do tomateiro irrigado nas condições edafoclimáticas no município de Codó, MA

Estádio Fenológico	Duração (dias)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc
Inicial	30	26,65	127,64	0,15
Desenvolvimento	40	139,80	207,87	0,15-1,01
Produção	40	213,60	192,97	1,01
Final	25	121,25	111,40	1,01-0,66
Total	135	506,53	639,88	-

Fonte: Elaboração própria.

O ciclo do tomateiro pode ser dividido em quatro estádios fenológicos (Figura 1). O primeiro estádio durou em média 15 dias e compreende o estabelecimento inicial da cultura, que vai do transplantio até início de novas brotações (a). O segundo estádio vegetativo representa o período entre o pleno estabelecimento das mudas até o início do florescimento, com duração média de 45 dias (b). O terceiro estádio, a frutificação, que se prolonga até o início da maturação dos frutos e tem duração aproximadamente 45 dias (c). Por fim, o quarto estádio corresponde a maturação com duração de 27 a 30 dias e vai do início da maturação até a colheita (d) (CLEMENTE; BOITEUX, 2012; ALVARENGA, 2013).

Figura 1 - Representação dos estádios fenológicos do tomateiro: a) estabelecimento inicial da cultura; b) início do florescimento; c) frutificação; e d) maturação



Fonte: Alves Junior *et al*. (2021).

No estádio final foi observado constante declínio acentuado devido à senescência da cultura. Esses valores podem mudar em cada região conforme as necessidades das culturas, bem como as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento dentre outras). Portanto, o entendimento sobre os estádios fenológicos do tomateiro e suas variações de

acordo com a cultivar e condições climáticas é importante para o manejo da cultura e, principalmente, da irrigação.

A distribuição temporal do Kc para cada cultura irrigada constitui a curva da cultura. Esse coeficiente proposto por Van Wijk e Vries é adimensional e representa a razão entre a ETc e ETo (SEDIYAMA; RIBEIRO; LEAL, 1998). Para a cultura do tomateiro irrigado em Codó, MA, os valores de Kc das fases inicial e final foram entre 0,15 e 1,01, respectivamente. A média da demanda evaporativa do tomateiro durante toda fase produtiva foi de 3,75 mm dia^{-1}.

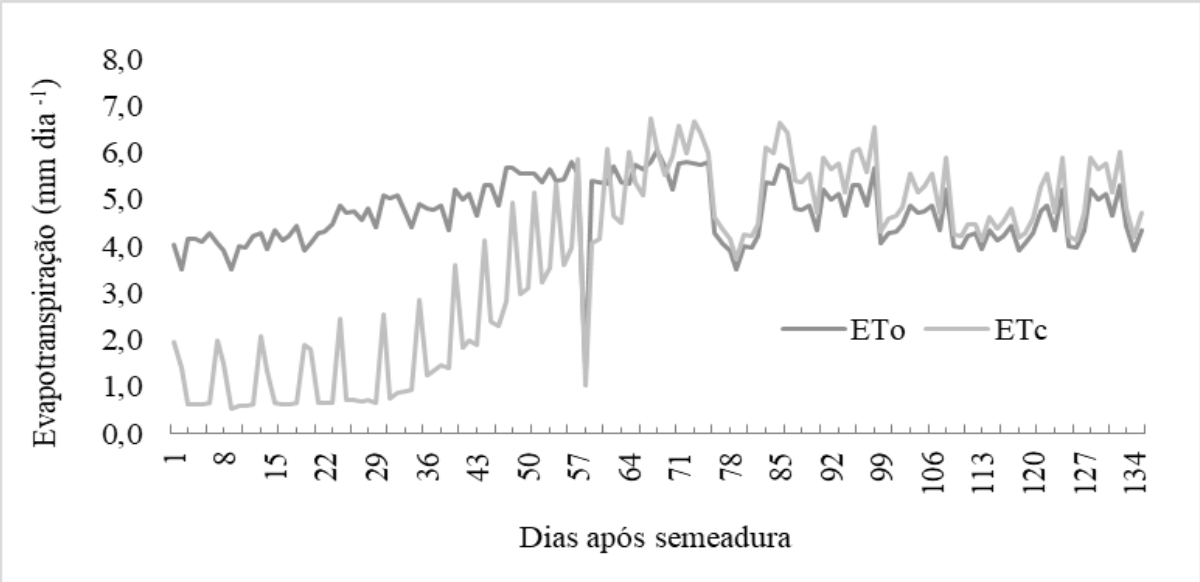
Santana *et al*., (2011) obtiveram valores de Kc do tomateiro San Marzano, do grupo italiano em condições de campo de 0,37; 0,72; 1,03; 1,10 e 0,75 para as fases inicial, desenvolvimento, intermediário, final e maturação. Já Reis *et al*., (2009) concluíram que, sob cultivo em ambiente protegido por exemplo, os valores de coeficientes de cultura do tomateiro caqui podem se elevar chegando a 0,7; 0,74 e 0,53 para as fases vegetativo, reprodutivo e maturação, respectivamente e apontam ainda que em ambientes protegidos, a evapotranspiração é menor em razão da quebra de entrada direta de luz solar sobre a planta e o solo.

Dalsasso (1997) verificou em cultivo com tomateiro em ambiente protegido, que os valores de Kc variaram entre 0,2 a 0,8 no período da primavera, e entre 0,2 a 1,5 no outono. Essa divergência entre resultados pode ser atribuída a uma possível variação do Kc com a época de cultivo e também com as condições meteorológicas, pois estas determinam mudanças no manejo das cortinas laterais da estufa, com as quais são alteradas a taxa de renovação do ar e o tempo de ventilação natura.

Esses resultados corroboram com os obtidos por Marouelli, Silva e Silva (2012), que estabeleceram valores de Kc para o tomateiro por irrigação de gotejamento na região do Cerrado brasileiro com valores na fase inicial de 0,45 – 0,55; vegetativa 0,35 – 0,45; frutificação 0,95 – 1,05 e maturação 0,25 – 0,35. Segundo Palaretti (2003) trabalhando com a cultura do tomateiro obteve valores do Kc de 0,5 – 0,6 inicial, 0,80 de desenvolvimento e 1,15 – 1,20 de maturação.

No Gráfico 1, disposto na página seguinte, é possível observar as variações que aconteceram na ETc diária e a ETo para a cultura do tomateiro irrigado nas condições edafoclimáticas no município de Codó, MA. Nos estádios de produção e final do tomateiro, a média da ETc aproximou-se dos valores da ETo. Percebeu-se aumento até os 40 dias de desenvolvimento, com posterior diminuição no final do ciclo. Esse comportamento pode ser evidenciado pela senescência da planta que no processo de maturação fisiológica ou aproximação do período de colheita, a demanda hídrica se torna menor diminuindo a cobertura solo.

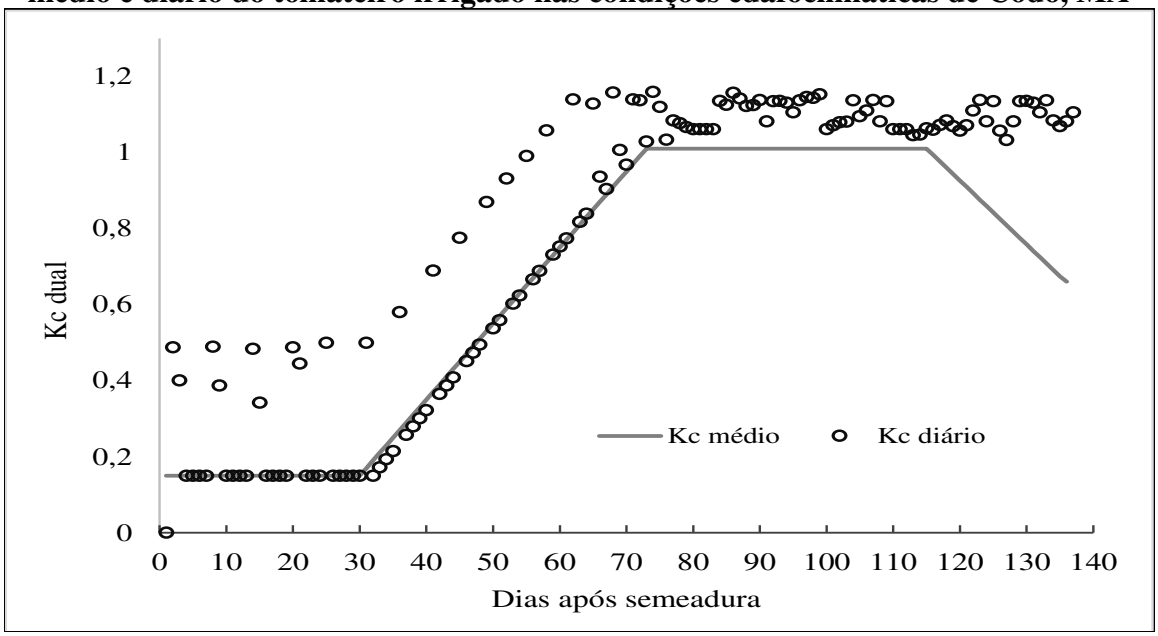
Gráfico 1 - Variação diária da evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc) do tomateiro irrigado nas condições edafoclimáticas de Codó, MA



Fonte: Elaboração própria.

No Gráfico 2 se observa as curvas do Kc dual, médio e diário para os diferentes estádios fenológicos do tomateiro irrigado. Observou-se que os valores do Kc médio aumentaram na mesma proporção do Kc diário até os 70 dias após a semeadura.

Gráfico 2 - Variação média e diária da estimativa dos Kc dual, médio e diário do tomateiro irrigado nas condições edafoclimáticas de Codó, MA

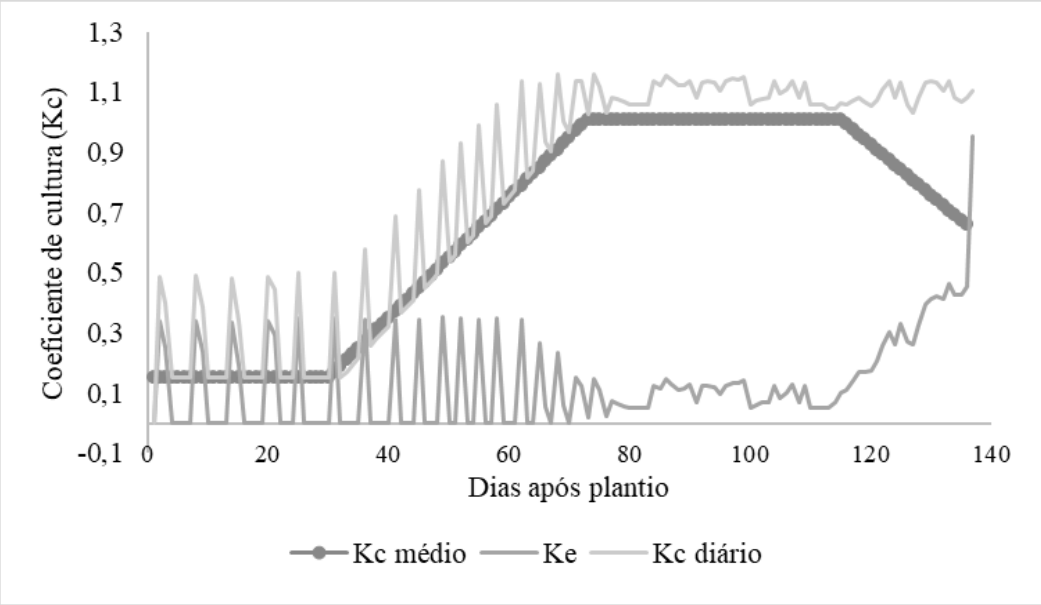


Fonte: Elaboração própria.

No Gráfico 3 é possível analisar que não houve variação para o Kc médio e o Kc diário após os 60 dias da semeadura. O comportamento dos valores médios de Kc tendem a uma queda, verificada no

final de desenvolvimento da cultura, fase que dura até aproximadamente os 120 dias após a semeadura (DAS). Fisiologicamente, esse comportamento se explica devido a diminuição na demanda hídrica da cultura e o início da senescência de folhas e, por consequência, redução das trocas gasosas entre planta e atmosfera. O Ke se manteve baixo até a fase final de desenvolvimento produtivo do tomateiro. Isso pode ter ocorrido devido a irrigação ou precipitação, ou ainda devido à exposição do solo, o que eleva a sua taxa de evaporação.

Gráfico 3 - Variação média e diária dos componentes do Kc dual: coeficiente de evaporação do solo (Ke) comparados ao Kc médio e diário estimados para a cultura do tomateiro irrigado em Codó, MA



Fonte: Elaboração própria.

Os valores elevados de Kc na fase reprodutiva da cultura do tomateiro está relacionado com a alta demanda hídrica devido ao florescimento e frutificação. A utilização de água pela cultura é afetada pelas condições climáticas, sobretudo pela temperatura do ar e umidade relativa do ar no interior do ambiente de cultivo e varia ainda em função de cada fase de desenvolvimento. Para a fase final houve uma queda do Kc médio e isso pode ser justificado devido a maturação, pois a planta não exige grandes quantidades de água quando contrastada com os demais estádios fenológicos (Gráfico 3).

Essa redução no Kc resulta em menor exigência hídrica pela cultura. Isso ocorre devido a planta já ter completado praticamente todo seu ciclo produtivo, onde ocorre o direcionamento de nutrientes e água para o fruto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores de Kc para as fases inicial e final do tomateiro foram de 0,15 e 1,01. Os valores de evapotranspiração e coeficiente da cultura seguiram uma tendência de aumento próximo à fase de frutificação.

Durante as fases de desenvolvimento e produção com maior demanda hídrica, as taxas de evapotranspiração foram mais elevadas com valores totais de 139,80 e 213,60 mm, respectivamente. Por outro lado, a fase inicial obteve o menor valor de ETc com 26,65 mm, o que demonstra que para a produção de frutos há um maior aporte hídrico, sendo assim, durante esta fase de desenvolvimento deve haver maior disponibilidade de água para a planta.

Como perspectivas para trabalhos futuros incluem a busca por refinamentos na metodologia do Kc dual para estimar o coeficiente de cultura do tomateiro, validações experimentais em diferentes condições de cultivo, a aplicação da abordagem em outras culturas e sistemas de irrigação, a análise do impacto de variáveis climáticas, a exploração de tecnologias avançadas e inteligência artificial, avaliações econômicas, considerações sobre as mudanças climáticas e seus efeitos nas necessidades hídricas das plantas, além do desenvolvimento de ferramentas práticas de apoio à decisão para agricultores. Essas direções de pesquisa visam aprimorar a gestão da irrigação e promover práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop requirements. Rome: FAO, 1998.

ALLEN, R. G. **REF-ET**: Reference evapotranspiration calculation software for FAO and ASCE standardized equations. Moscow: University of Idaho, 2000.

ALVARENGA, M. A. R. "Origem, botânica e descrição da planta". *In*: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate**: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia. Lavras: Editora da UFLA, 2013.

ALVES JUNIOR, J. *et al.* "Diagnosis of irrigation management in the industrial tomato crop in Goiás, Brazil". **Chemical Engineering Transactions**, vol. 87, n. 1, 2021.

CLEMENTE, F. M. V. T.; BOITEUX, L. S. (ed.). **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa, 2012.

CORREIA FILHO, F. L. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Codó. Teresina: CPRM, 2011.

DALSASSO, L. C. M. **Consumo de água e coeficiente de cultura do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) e do pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivados em estufa plástica** (Dissertação de Mestrado em Agronomia). Santa Maria: UFSM, 1997.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. "Cidades e Estados". **IBGE** [2021]. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 02/11//2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. "Codó". **IBGE** [2023]. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 02/11//2023.

KOTTEK, M. *et al.* "World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated". **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 15, n. 1, 2006.

LIMA, A. A. C. **Solos e aptidão edafoclimática para a cultura do cajueiro no município de Codó, Maranhão**. Fortaleza: Embrapa, 1998.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; SILVA, W. L. C. **Irrigação do tomateiro para processamento**. Brasília: Embrapa, 2012.

PALARETTI, L. F. **Estimativa da evapotranspiração do tomateiro em dois sistemas de condução**. Viçosa: Editora da UFV, 2003.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF)**: goteo, microaspersión, exudación. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990.

SANTANA, M. J. *et al.* "Evapotranspiração e coeficiente de cultura do tifton-85 em Uberaba/MG". **Global Science and Techonology**, vol. 3, n. 3, 2016.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

SEDIYAMA, C. G.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. "Relações Clima-Água-Planta". *In*: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. (org.). **Manejo de Irrigação**. Lavras: Editora Suprema, 1998.

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

TAVARES, A. R. A. **Cultura do tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) irrigado por gotejamento subsuperficial** (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Tecnologia em Irrigação e Drenagem). Urutaí: IF-Goiano, 2012.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano V | Volume 16 | Nº 48| Boa Vista |2023

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio, Universidade Estadual de Roraima