

NECESSIDADE HÍDRICA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO NOROESTE PAULISTA¹

ALBERTO MARIO ARROYO AVILEZ²; FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ³; REGIANE DE CARVALHO BISPO⁴ E LUAN BRIOSCHI GIOVANELLI⁵

¹Apoio financeiro da FAPESP Processo 2.009/52.467-4

²Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” - UNESP/FCA, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Botucatu, SP. e-mail: betomario1494@gmail.com

³Professor Titular, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” - UNESP, Ilha Solteira, SP. E-mail: fbthtang@agr.feis.unesp.br

⁴Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” - UNESP/FCA, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Botucatu, SP. Email: regianecarvalhoks@gmail.com

⁵Professor da Faculdade de Viçosa-FDV, Rua Gomes Barbosa, 870, Viçosa-MG. e-mail: luanbg22@hotmail.com

1 RESUMO

O conhecimento da necessidade hídrica das culturas é imprescindível para se realizar o manejo racional da água – cada vez mais indispensável devido à escassez hídrica. O objetivo deste trabalho foi estimar a evapotranspiração da cultura (ETc) da cana-de-açúcar e assim obter a necessidade hídrica, por safra, no Noroeste Paulista. Realizou-se o trabalho em duas fazendas comerciais, nos municípios de Andradina e Rubineia. Na primeira fazenda, estimaram-se os valores totais de ETc para as safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Na segunda fazenda, estimaram-se os valores de ETc para as safras 2015/2016 e 2016/2017. A necessidade hídrica ao longo das safras apresentou valores distintos para as duas fazendas analisadas, com valores extremos de 1095 mm/safra para a fazenda comercial em Rubineia e 1595 mm/safra para a fazenda comercial em Andradina. A variação da necessidade hídrica entre as fazendas ocorreu devido ao ciclo da cultura, aos dias necessários para atingir a data de corte da cana-de-açúcar e aos valores de evapotranspiração de referência (ETo). O correto entendimento e aplicação dos valores de coeficiente de cultivo (Kc) e de ETo possibilitou estimar a necessidade hídrica da cana-de-açúcar na região do noroeste paulista.

Palavras-chave: **dados meteorológicos, evapotranspiração, coeficiente de cultivo.**

AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, R. C.; GIOVANELLI, L. B.
WATER REQUIREMENT OF SUGARCANE IN NORTHWEST STATE OF SÃO PAULO

2 ABSTRACT

The knowledge of the water needs of crops is essential, because in this way, the rational water management can be achieved - increasingly indispensable due to water scarcity. The objective of this work was to estimate the evapotranspiration (ETc) of the sugarcane crop and thus obtain the water need, per crop, in the Northwest region of state of São Paulo. The work was performed

out in two commercial farms, in the municipalities of Andradina and Rubineia. In the first farm, total ETc values were estimated for the 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 and 2016/2017 seasons. In the second farm, ETc values were estimated for the 2015/2016 and 2016/2017 seasons. The water needs along of the seasons presented different values for the two farms analyzed, with extreme values of 1095 mm/crop for the commercial farm in Rubineia and 1595 mm/crop for the commercial farm in Andradina. The variation of the water need among the farms occurred due to the crop cycle, the days needed to reach the sugarcane cut-off date, and the reference evapotranspiration (ETo) values. The correct understanding and application of the values of crop coefficient (Kc) and of ETo made it possible to estimate the water need of sugarcane in the northwestern region of state of São Paulo.

Keywords: weather data, evapotranspiration, coefficient of crop.

3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar possui alto valor econômico e seus principais derivados são o açúcar (alimento) e o álcool (hidratado e anidro), imprescindíveis para o mercado mundial. Segundo Souza et al. (1999), outros produtos originados da cultura são reutilizados como, por exemplo, o bagaço - que é aproveitado pelas usinas para a geração de energia - e a vinhaça - utilizada para fertilizar os solos, mesmo em campos nos quais é cultivada a cana-de-açúcar

Dois fatores significativos para o crescimento de uma planta é a disponibilidade de água e de nutrientes no solo. Para o uso da água pela cana-de-açúcar, é fundamental identificar a necessidade hídrica durante todo o ciclo produtivo da cultura e, desta forma, obter máximas produtividades (WIEDENFELD e ENCISO, 2008).

A estimativa da necessidade hídrica das plantas é importante em diversas áreas da agricultura, tais como em estudos do manejo da irrigação, saneamento agrícola, estimativa da produção e estudos hidrológicos em geral. Segundo Doorenbos e Kassam (1979) os valores da necessidade hídrica da cana-de-açúcar variam entre 1500 e 2500 mm. Nas principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do país, o consumo hídrico diário da cultura varia dependendo da variedade cultivada, do

estádio de desenvolvimento, da evapotranspiração, dos meses do ano e da região; apresentando valores entre 2,0 e 6,0 mm dia⁻¹ (BERNARDO, 2006).

A cultura da cana de açúcar possui quatro fases vegetativas: (i) brotação, (ii) perfilhamento, (iii) crescimento vegetativo, e (iv) maturação; que influenciam diretamente na necessidade hídrica. Nas três primeiras fases a cultura é muito sensível ao déficit hídrico, sendo que a terceira fase é a mais sensível. O ideal para a cultura nestas três fases, segundo Almeida et al. (2008), são temperaturas do ar entre 25 e 33°C, para que a cultura mantenha-se dentro da amplitude térmica ideal

De acordo com Ramesh e Mahadevaswamy (2000), durante a maturação ocorre o maior acúmulo de sacarose nos colmos. Nesta fase, o ideal é que a água presente no solo seja menor que nas fases anteriores. Pode-se acelerar o processo de maturação evitando a irrigação, induzindo estresse hídrico (SMITH e INMAN-BAMBER, 2005).

A evapotranspiração da cultura (ETc) é definida como a quantidade de água consumida por um determinado cultivo. Segundo Allen et al. (2006), a ETc é a combinação da evaporação, que provém do solo, somada à transpiração, que está relacionada à planta, portanto, com a estimativa correta destas duas variáveis, é possível obter a quantidade de água que a

planta consome durante seu ciclo vegetativo.

A evapotranspiração pode ser estimada por meio de medidas diretas – como, por exemplo, utilizando lisímetros, que se baseiam no método do balanço de água no solo – e por medidas indiretas – utilizando-se métodos empíricos que estimam a evapotranspiração com base na interação de variáveis meteorológicas que condicionam a demanda atmosférica (PIVETTA et al., 2010).

Face ao exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar a evapotranspiração máxima da cultura da cana-de-açúcar, por meio da estimativa da evapotranspiração de referência e de coeficientes de cultivo, a fim de obter-se a necessidade hídrica total por safra, no Noroeste Paulista.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Fazenda comercial em Andradina

A estação meteorológica utilizada para a aquisição dos dados meteorológicos - necessários à estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) - no município de Andradina, encontra-se a 5,25 km da área de estudo, cujas coordenadas são: Latitude 20° 43' 43,6" S e Longitude 51° 16' 30,3" W, com 360 m de altitude. A fazenda foi dividida em dez talhões (1 a 10) e estes divididos em setores com área média de 20 ha. Os setores 1.1 a 1.4, 2.1 a 2.5, 4.1 a 4.4 e 5.1 a 5.4 foram plantados com a variedade CTC 4, os setores 7.1 a 7.4, 8.1 a 8.3, 9.1 a 9.3 e 10.1 a 10.4 com a variedade CTC 15, os setores 3.1 a 3.5 com variedade RB96 - 6928, e os setores 6.1 a 6.4 com a variedade RB92 - 579.

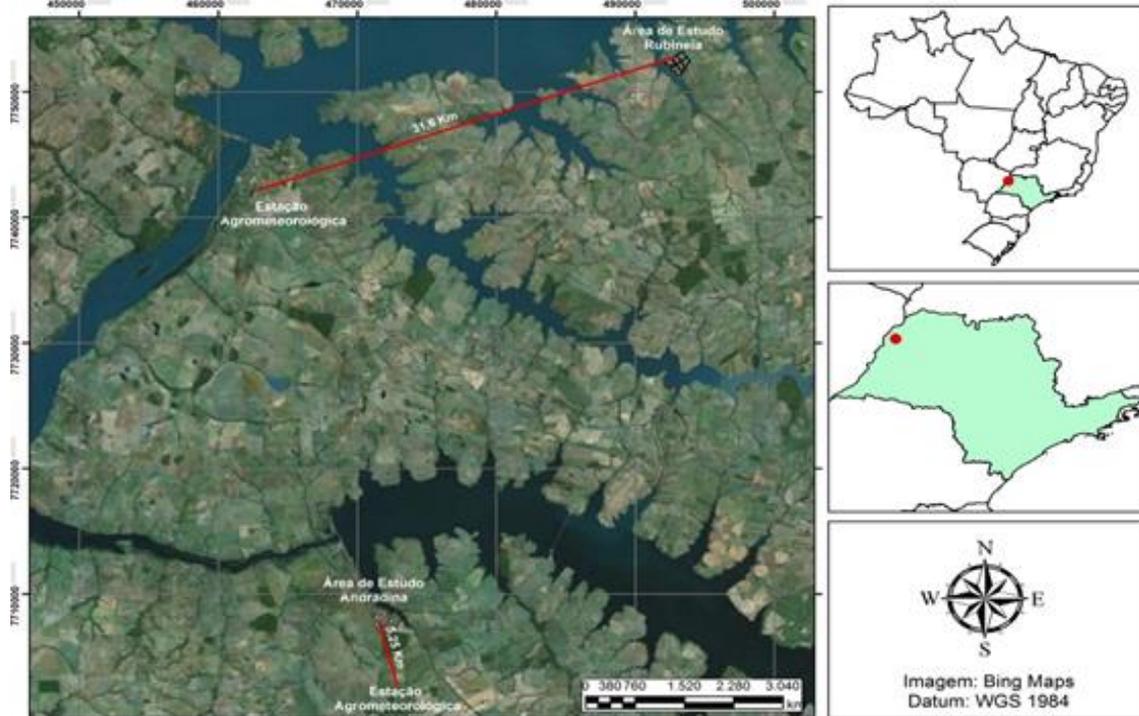
Nesta área, realizaram-se os cálculos para a estimativa da ET_c total, por safra de produção, para quatro safras da cultura: 1^o safra (2013/2014), 2^a safra (2014/2015), 3^a safra (2015/2016) e 4^a safra (2016/2017).

4.2 Fazenda comercial em Rubineia

Para a fazenda do município de Rubineia, os dados de ET_o foram obtidos por meio da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, operada pela Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira. A estação meteorológica utilizada localiza-se no município de Ilha Solteira (Latitude 20.0° 25.0' 24.4" S, Longitude 51.0° 21.0' 13.1" W e 337 m de altitude). A fazenda foi dividida em seis talhões: 101, 102, 103, 104, 105 e 111. Nesta, realizou-se o cálculo da ET_c total, por safra de produção, para duas safras da cultura: 1^a safra (2015/2016) e 2^a safra (2016/2017).

Na Figura 1 são indicadas as duas áreas de estudo – Andradina e Rubineia –, bem como a localização das estações meteorológicas utilizadas.

Figura 1. Localização das áreas de estudo e distância até as estações meteorológicas em Andradina e em Rubineia



4.3 Estimativa da necessidade hídrica

Para estimativa da necessidade hídrica da cana-de-açúcar – por meio da

evapotranspiração da cultura (ET_c) – utilizou-se a Equação 1, descrita abaixo.

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (1)$$

Em que:

ET_c = Evapotranspiração da Cultura (mm dia⁻¹);

ET_o = Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); e

K_c = Coeficiente de Cultura (single).

A evapotranspiração de referência - ET_o – foi obtida utilizando-se a equação de Penman-Monteith (Equação 2) parametrizada pela FAO (ALLEN et al., 1998), cujos dados de entrada advieram das estações meteorológicas descritas anteriormente. A equação de Penman-Monteith é frequentemente utilizada para a

estimativa da evapotranspiração de referência, uma vez que esta determina a evapotranspiração de uma superfície hipotética de referência, proporcionando um valor padrão, podendo-se comparar com a evapotranspiração em diversos períodos do ano, em outras regiões, e até em outros cultivos (ALLEN et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (2)$$

Em que:

E_{To} = Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

R_n = Radiação neta na superfície do cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$);

G = Fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$);

T = Temperatura média do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$);

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

e_s = Pressão do vapor de saturação (kPa);

e_a = Pressão real do vapor (kPa);

$e_s - e_a$ = Déficit da pressão de vapor (kPa);

Δ = Pendente da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); e

γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

4.4 Coeficiente de cultivo (Kc)

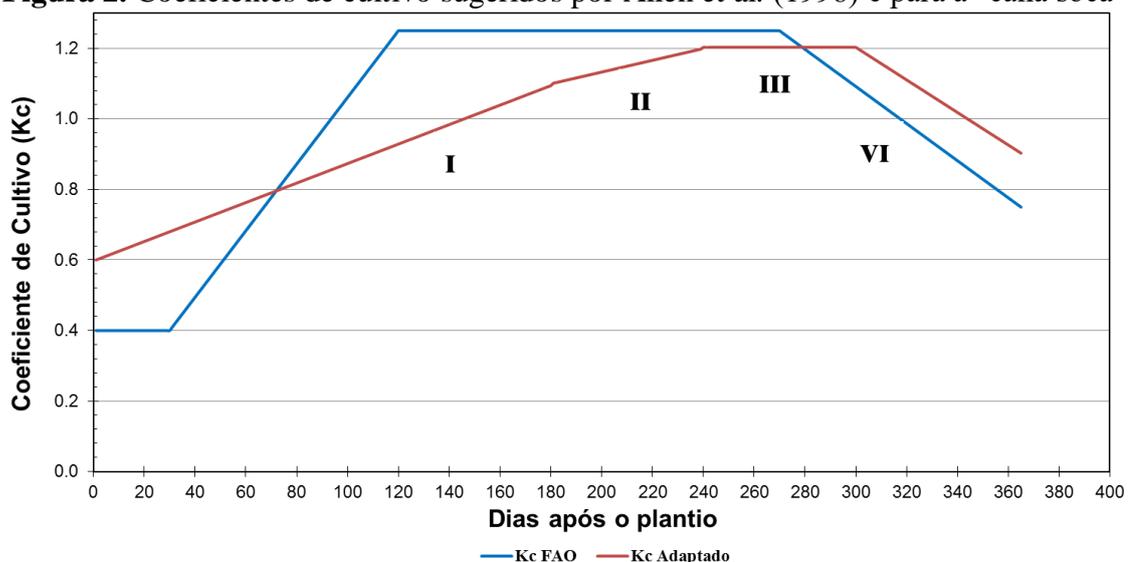
Utilizou-se a metodologia do coeficiente único (Kc single), considerando-se que esta incorpora as características do cultivo e os efeitos médios da evaporação no solo; sendo importante para a planificação da irrigação e realização do manejo, auxiliando na determinação dos calendários básicos da irrigação e na maioria dos estudos de balanço hídrico (ALLEN et al., 1998).

Os valores de Kc utilizados no presente trabalho para estimativa da ETc

foram adaptados para a “cana primeira safra” (após o plantio) e “cana soca” (após o primeiro corte), em pesquisas realizadas anteriormente, a partir dos valores sugeridos por Allen et al. (1998), para a região do Noroeste Paulista.

Na Figura 2 são apresentadas duas curvas dos coeficientes de cultivo. A primeira, em azul, representa a curva com os coeficientes sugeridos por Allen et al. (1998). A segunda, em vermelho, representa a curva com os coeficientes adaptados para a “cana soca”.

Figura 2. Coeficientes de cultivo sugeridos por Allen et al. (1998) e para a “cana soca”



A curva em vermelho é dividida em quatro segmentos lineares. O primeiro,

referente à fase I (brotação e estabelecimento da cultura), varia de 0,6 a

1,1 e possui duração de 180 dias. O segundo, referente à fase II (estabelecimento e perfilhamento), varia de 1,1 até 1,2 com duração de 60 dias. No terceiro, referente à fase III (crescimento máximo), mantém-se o valor máximo de $K_c - 1,2 -$, com uma duração de 60 dias. Já o quarto segmento da curva compreende a fase IV (maturação) e é representado por valores decrescentes de K_c , variando de 1,2 até 0,9, durante 65 dias. Desta forma, completa-se o ciclo produtivo da cultura com 365 dias.

Ressalta-se que a curva dos coeficientes da “cana soca” varia para a curva da “cana primeira safra” apenas no que se refere à fase I – na qual o valor do K_c

inicia-se em 0,3. Nas demais fases, tanto os valores, como as durações, são idênticos.

4.5 Cálculo dos graus dias acumulados

Realizou-se o cálculo dos graus dias acumulados durante a safra de produção utilizando-se a Equação 3 e considerando-se a temperatura basal igual a 18 °C – de acordo com Doorembos e Kassan (1979). Outros estudos também têm fixado a temperatura basal da cana-de-açúcar entre 8 e 18°C, e a temperatura ótima na faixa de 30 a 35°C (INMAN-BAMBER, 1994), sob a qual a cultura apresenta crescimento máximo.

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_m - T_b) \quad (3)$$

Em que:

T_m = Temperatura média diária do ar (°C); e

T_b = Temperatura base da cultura (°C).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela abaixo é apresentada a necessidade hídrica da cana-de-açúcar para a primeira safra (2013/2014), na fazenda

comercial localizada no município de Andradina.

Tabela 1. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar para a primeira safra, na fazenda comercial no município de Andradina

Safra 2013 - 2014							
Setores	Início do	Duração	ET _o		ET _c		ΣGraus Dias °
	ciclo		Media	ΣET _o	Media	ΣET _c	
	Data	dias	mm/dia	mm/safra	mm/dia	mm/safra	
2.1 a 2.5	19/10/2013	371	4.3	1592	3.8	1397	2806
3.1 a 3.5	15/10/2013	245	4.3	1060	3.7	916	1939
7.1 a 7.4	24/08/2013	355	4.2	1489	3.7	1315	2480
8.1 a 8.3	22/08/2013	364	4.2	1529	3.7	1352	2544
9.1 a 9.3	14/08/2013	334	4.3	1432	3.8	1265	2391
10.1 a 10.4	02/09/2013	352	4.2	1470	3.7	1293	2474
1.1 a 1.4	10/10/2013	344	4.2	1456	3.7	1273	2560
4.1 a 4.4	14/10/2013	338	4.2	1428	3.7	1244	2514
5.1 a 5.4	22/09/2013	359	4.2	1514	3.7	1335	2614
6.1 a 6.4	26/09/2013	356	4.2	1501	3.7	1322	2605
Desvio							
Padrão	-	-	0.05	144	0.04	133	224
Média	-	-	4.2	1479	3.7	1304	2529

Observa-se, na Tabela 1, que a cana-de-açúcar apresentou necessidade hídrica média de 1304 mm/safra. Este valor é inferior ao descrito por Doorenbos e Kassam (1979), que relataram que a necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia de 1500 a 2500 mm para todo o ciclo vegetativo da cultura; sendo considerada, assim como a maioria das gramíneas, uma cultura que apresenta elevada eficiência na utilização e resgate de CO₂ da atmosfera, e que se adaptada a condições de alta intensidade luminosa e altas temperaturas, aumentando com isto o consumo de água (SEGATO et al., 2006; FAO, 2014). Tal relato é corroborado por Wiedenfeld (2004), afirmando que a cana-de-açúcar é considerada uma cultura que, para cumprir seu ciclo total de produção, demanda um grande volume de água.

Verifica-se, ainda na Tabela 1, que nos setores 3.1 a 3.5 a necessidade hídrica

foi de 916 mm/safra, valor bem abaixo do ocorrido nos demais setores. Esta diferença deve-se ao fato do ciclo da cultura para esses setores ser menor do que nos demais - tal redução do ciclo da cultura foi realizada para fins do manejo operacional na colheita dos talhões. Contudo, mesmo com o valor acumulado menor em relação aos demais setores, dividiu-se esse acumulado por um ciclo menor, logo, observa-se que a necessidade hídrica média diária da cultura não apresentou grande variação entre os talhões, obtendo-se uma estimativa média de 3,7 mm dia-1. O maior valor de necessidade hídrica - 1397 mm/safra - foi obtido nos setores 2.1 a 2.5. Nota-se, para esses setores, a maior duração do ciclo da cultura - 371 dias - e também a maior soma de graus dias.

Os dados obtidos para a segunda safra estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Necessidade hídrica da cana de açúcar para o segundo ciclo produtivo na fazenda comercial no município de Andradina

Safrá 2014 - 2015							
Setores	Início do ciclo	Duração	ETo	Σ ETo	ETc	Σ ETc	Σ Graus
	Data	dias	Media	mm/safra	Media	mm/safra	Dias
			mm/dia		mm/dia		°
2.1 a 2.5	25/10/2014	340	3.5	1203	3.4	1164	2382
3.1 a 3.5	17/06/2014	371	3.8	1407	3.7	1394	2692
7.1 a 7.4	14/08/2014	379	3.8	1433	3.6	1366	2777
8.1 a 8.3	21/08/2014	373	3.8	1410	3.6	1341	2744
9.1 a 9.3	14/07/2014	411	3.7	1541	3.6	1490	2909
10.1 a 10.4	20/08/2014	376	3.8	1423	3.6	1353	2768
1.1 a 1.4	19/09/2014	376	3.7	1380	3.5	1317	2694
4.1 a 4.4	17/09/2014	376	3.7	1320	3.5	1320	2700
5.1 a 5.4	16/09/2014	378	3.7	1391	3.5	1326	2714
6.1 a 6.4	17/09/2014	377	3.7	1387	3.5	1322	2708
Desvio							
Padrão	-	-	0.08	86	0.09	81	132
Média	-	-	3.7	1399	3.6	1334	2711

Verifica-se na tabela acima que o valor médio da necessidade hídrica foi de 1334 mm/safra, os setores 2.1 a 2.5 apresentaram o valor de 1164 mm/safra, sendo 12,7% menor que a média. O decréscimo deste valor ocorreu basicamente devido ao número de dias do ciclo – 340 –, que foram menores com relação aos demais. Observou-se, também, que houve uma redução dos valores médios de ETo com relação ao ciclo anterior na mesma área – de 4,2 a 3,7 mm dia⁻¹. Os valores de Kc utilizados para a “cana soca” são maiores do que os utilizados para a “cana primeira safra” na fase I (brotação e estabelecimento da cultura) mas, com a diminuição da ETo, o resultado da ETc apresentou valores

semelhantes aos da Tabela 1. Silva et al. (2012) ratificam esse comportamento pois obtiveram para a cana-de-açúcar, utilizando valores de Kc semelhantes aos usados neste trabalho, uma necessidade hídrica total de 1710 mm/safra, a partir de um valor de ETo de 1743 mm/safra. Assim, observa-se que a ETc acumulada durante o ciclo da cana de açúcar será menor se a demanda atmosférica, em termos de evapotranspiração de referência (ETo), também for menor nesse mesmo local.

A necessidade hídrica na fazenda comercial no município de Andradina, para o ciclo 2015 – 2016 é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Necessidade hídrica da cana de açúcar para o terceiro ciclo produtivo na fazenda comercial no município de Andradina

Safrá 2015 - 2016							
Setores	Início do ciclo Data	Duração dias	ET _o Media mm/dia	∑ET _o mm/safra	ET _c Media mm/dia	∑ET _c mm/safra	∑Graus Dias °
2.1 a 2.5	25/10/2015	402	4.2	1686	4.1	1641	2772
3.1 a 3.5	17/06/2015	371	3.9	1444	3.8	1464	2654
7.1 a 7.4	14/08/2015	346	4.0	1400	4.0	1384	2529
8.1 a 8.3	21/08/2015	345	4.0	1396	4.0	1380	2526
9.1 a 9.3	14/07/2015	345	4.0	1396	4.0	1380	2526
10.1 a 10.4	20/08/2015	343	4.0	1388	4.0	1372	2513
1.1 a 1.4	19/09/2015	402	4.2	1686	4.1	1641	2772
4.1 a 4.4	17/09/2015	353	4.1	1434	4.0	1413	2447
5.1 a 5.4	16/09/2015	352	4.1	1432	4.0	1411	2441
6.1 a 6.4	17/09/2015	403	4.2	1689	4.1	1644	2780
Desvio							
Padrão	-	-	0.09	134	0.09	119	136
Média	-	-	4.1	1433	4.0	1412	2527

Neste ciclo, os resultados da ET_o e ET_c média diária – 4,1 mm dia⁻¹ e 4,0 mm dia⁻¹, respectivamente – foram similares aos encontrados por Teixeira et al., (2016) que estimaram a evapotranspiração atual da cultura (ET_a) para cana sequeiro para o período 2011 e 2012 por meio do sensoriamento remoto, e encontraram uma média de 4,0 mm dia⁻¹ na fase geral de crescimento máximo da cultura, e 1,5 mm dia⁻¹ nas fases de brotação e estabelecimento e de maturação, totalizando um valor médio da ET_a de 4,0 mm dia⁻¹ para a fase de máxima necessidade hídrica. Contudo, considerando que os valores de ET_a foram estimados para cana sequeiro, a estiagem das chuvas provavelmente diminuiu a água no solo, ocorrendo a redução da taxa de evapotranspiração, apresentando assim, valores de ET_c máxima abaixo dos descritos por Allen et al. (1998).

De posse da Tabela 3, verifica-se que a necessidade hídrica total da cultura

apresentou uma variação de 16,5% dentre os valores extremos, sendo de 1644 mm/safra em 403 dias de ciclo e de 1372 mm/safra em 343 dias. Ressalta-se que não existe uma diferença, entre os setores, de números de dias necessários para a cultura cumprir o ciclo produtivo. O que ocorre é uma diferença devido às datas de corte da safra anterior, logo, a variação da ET_c entre os setores, para a presente safra, foi influenciada pela data de corte. A influência da data de corte também foi verificada por Ascoli et al. (2017) que obtiveram, em trabalho realizado na região do Noroeste Paulista, maior necessidade hídrica da cana quando a colheita é realizada nos meses de abril e maio e menor quando a colheita é realizada nos meses de julho e agosto.

Na Tabela 4 é apresentada a estimativa da necessidade hídrica na fazenda comercial no município de Andradina, para os ciclos 2016 – 2017.

Tabela 4. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar para o quarto ciclo produtivo na fazenda comercial no município de Andradina

Safrá 2016 - 2017							
Setores	Início do ciclo	Duração	ETo	Σ ETo	ETc	Σ ETc	Σ Graus
	Data	dias	Media	mm/safra	Media	mm/safra	Dias
			mm/dia		mm/dia		°
2.1 a 2.5	25/10/2016	330	4.3	1413	4.1	1361	2285
3.1 a 3.5	17/06/2016	364	4.3	1580	4.3	1571	2424
7.1 a 7.4	14/08/2016	389	4.3	1661	4.1	1610	2479
8.1 a 8.3	21/08/2016	389	4.3	1661	4.1	1610	2479
9.1 a 9.3	14/07/2016	389	4.3	1661	4.1	1610	2479
10.1 a 10.4	20/08/2016	389	4.3	1661	4.1	1610	2479
1.1 a 1.4	19/09/2016	330	4.3	1413	4.1	1361	2261
4.1 a 4.4	17/09/2016	381	4.4	1668	4.2	1595	2594
5.1 a 5.4	16/09/2016	381	4.4	1668	4.2	1595	2594
6.1 a 6.4	17/09/2016	330	4.3	1413	4.1	1361	2261
Desvio							
Padrão	-	-	0.05	118	0.06	116	126
Média	-	-	4.3	1661	4.1	1595	2479

Para a safra 2016 - 2017 (Tabela 4) a necessidade hídrica variou de 1610 mm/safra em 389 dias de duração do ciclo, para de 1361 mm/safra em 330 dias, representando uma diferença de 15,5%. Ao comparar a primeira e a última safra, nota-se que os valores de ETo foram semelhantes – 4,2 mm dia⁻¹ (2013-2014) e 4,3 mm dia⁻¹ (2016-2017) –; entretanto, a ETc aumentou – 3,7 mm dia⁻¹ (2013-2014) e 4,1 mm dia⁻¹ (2016-2017). Pode-se atribuir esse resultado ao fato da ETc ter sido estimada com valores do Kc adaptados para “cana soca” – cujo ciclo produtivo inicia-se com o valor de 0,6 – enquanto que, para a “cana primeira safra”, o ciclo inicia-se com 0,3. Corroborando com este trabalho estão os resultados obtidos por Silva et al. (2012) que, objetivando determinar os coeficientes de cultivo para a “cana soca”, obtiveram valores entre 0,65 e 1,1 durante o começo

do ciclo, até atingir o crescimento máximo – obtendo, assim, uma ETc total de 1743 mm.

Em relação à variação entre os setores na última safra, observa-se que os valores de ETc aumentaram, conseqüentemente, com o aumento dos dias necessários para chegar-se ao final do ciclo. Segato et al. (2006) ratificam essa observação haja vista que encontraram maiores valores de ETc total quando os ciclos da cultura foram mais longos – fato que provocou um aumento da necessidade de água no ciclo total de produção.

Para a fazenda comercial localizada no município de Rubinéia, o primeiro ciclo produtivo da cultura ocorreu durante os anos 2015/2016; e os valores referentes à necessidade hídrica total estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar para o primeiro ciclo produtivo na fazenda comercial no município de Rubineia

Safra 2015 - 2016							
Setores	Início do ciclo	Duração dias	ET _o		ET _c		ΣGraus Dias °
	Data		Media mm/dia	ΣET _o mm/safra	Media mm/dia	ΣET _c mm/safra	
101	02/11/2015	360	3.7	1332	3.3	1179	2484
102	09/10/2015	384	3.7	1436	3.3	1252	2703
103	04/09/2015	417	3.8	1573	3.6	1495	2943
104	05/09/2015	417	3.8	1571	3.6	1494	2940
105	02/08/2015	450	3.8	1723	3.6	1641	3176
111	28/09/2015	393	3.7	1473	3.3	1306	2747
Desvio							
Padrão	-	-	0.04	135	0.18	176	239
Média	-	-	3.8	1522	3.5	1400	2843

Observa-se na tabela acima que a necessidade hídrica total foi, em média, de 1400 mm/safra entre os setores – valor este abaixo dos descritos por Doorenbos e Kassam (1979). Estimaram-se para os talhões 101, 102 e 111 uma ET_c média de 3,3 mm dia⁻¹ – valor 8,3% menor que a ET_c dos demais talhões: 3,6 mm dia⁻¹. Essa diferença ocorreu devido ao número de dias em que a cultura esteve em campo; sendo que o maior valor ocorreu nos talhões que tiveram um ciclo mais longo.

Ao comparar a ET_o média na primeira safra das duas fazendas comerciais analisadas, ocorreu uma variação de 10,5% entre elas, com 3,8 e 4,2 mm dia⁻¹ no município de Rubineia e Andradina, respectivamente. Pode-se considerar que essa variação entre as áreas ocorreu pelo fato dos ciclos terem acontecido em anos diferentes; e, a comparação dos valores de ET_c entre as áreas – 3,5 mm dia⁻¹ em Rubineia e 3,7 mm dia⁻¹ em Andradina – também é válida, haja vista que para sua estimativa utilizaram-se os mesmos valores de K_c (primeira safra da cultura) logo, observa-se que a diferença na ET_c média entre as áreas – 5,7% – foi influenciada diretamente pela demanda

evapotranspirométrica, expressa pela ET_o. Segundo Chaves et al. (2015), a ET_c para a mesma cultura varia entre duas áreas em locais diferentes e numa mesma área durante o ciclo da cultura, já que esta depende da variação da ET_o. A ET_o varia dependendo das variáveis meteorológicas de cada local, assim como também numa mesma área com relação as variáveis meteorológicas diárias.

Ressalta-se também que os valores médios de ET_c no primeiro ciclo da cultura foram influenciados, principalmente, pelos valores dos coeficientes de cultura (K_c). Os coeficientes ajustados da cultura na primeira fase começam em 0,3 e atingem o valor de 1,1 e representaram o segmento da reta mais longo, com duração de 180 dias. A estimativa da ET_c durante estes 180 dias é menor do que a estimada com os coeficientes da cultura sugeridos por (DOORENBOS e PRUITT, 1977), cujos coeficientes da primeira fase iniciam-se em 0,4 e, após 180 dias, atingem o valor de 1,25, conforme apresentado na Figura 2.

Na Tabela 6 é representado o segundo ciclo da cultura para a área de Rubineia.

Tabela 6. Necessidade hídrica da cana de açúcar para o segundo ciclo produtivo na fazenda comercial no município de Rubineia

Safrá 2016 - 2017							
Setores	Início do ciclo	Duração	ETo	Σ ETo	ETc	Σ ETc	Σ Graus Dias
	Data	dias	mm/dia	mm/safra	mm/dia	mm/safra	°
101	27/10/2016	307	3.7	1136	3.5	1083	2155
102	27/10/2016	307	3.7	1136	3.5	1083	2155
103	25/10/2016	314	3.7	1171	3.6	1124	2192
104	26/10/2016	309	3.7	1144	3.5	1093	2151
105	25/10/2016	310	3.7	1148	3.5	1097	2159
111	25/10/2016	314	3.7	1171	3.6	1124	2192
Desvio							
Padrão	-	-	0.01	16	0.02	19	19
Média	-	-	3.7	1146	3.5	1095	2157

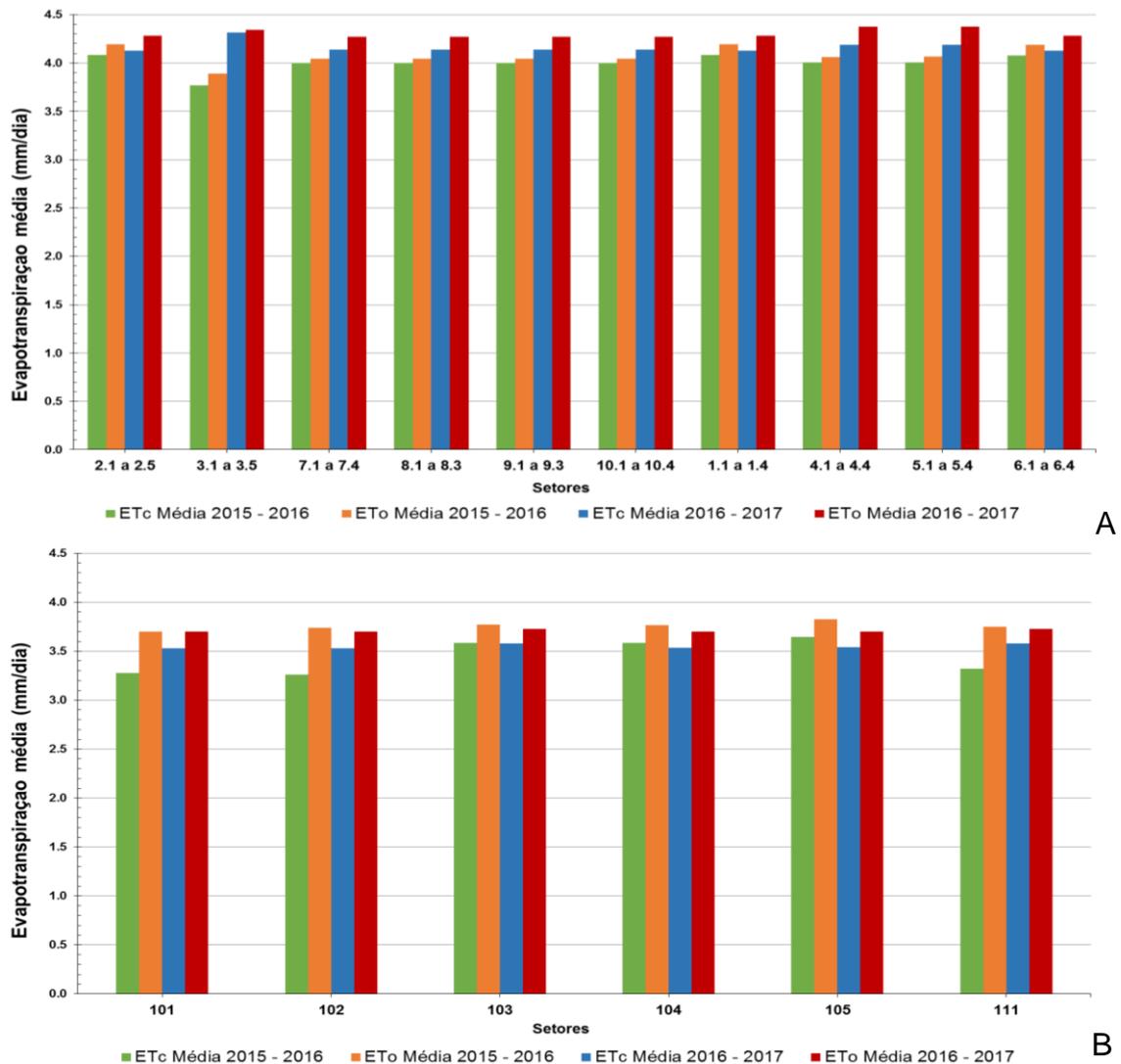
De posse da tabela acima verifica-se que o valor estimado da necessidade hídrica média para o segundo ciclo da cana-de-açúcar no município de Rubineia foi de 1095 mm/safra – o menor valor dentre todos os demais estimados neste trabalho. Pode-se observar também que a ETo total média seguiu o mesmo comportamento, apresentando o menor valor dentre todos os estimados neste trabalho – em torno de 1146 mm/safra – e uma menor duração do ciclo da cultura – aproximadamente 310 dias de duração. Essas diferenças interferiram diretamente na estimativa da necessidade hídrica; fato também relatado por Azevedo et al. (1993), os quais alegaram que a redução da necessidade hídrica total para uma cultura deve-se à redução do ciclo, quando a cultura é colhida precoce. Assim, a necessidade hídrica apresentada na Tabela 6 representa um ciclo diferente ao descrito por Doorenbos e Kassam (1979); que obtiveram uma necessidade hídrica para a cana-de-açúcar entre 1500 e 2500 mm, quando o ciclo da cultura é de 365 dias.

Em relação aos graus dia – medida dependente da temperatura média do ar

ocorrida a cada dia (LEMOS FILHO et al 1997) – conhecer os padrões de crescimento entre as variedades por meio da demanda térmica possibilita realizar um bom manejo da cultura já que se conheceriam as fases de maior desenvolvimento, e tais fases coincidiriam com as condições ambientais mais favoráveis para obter-se um aumento de produtividade (CARMO et al., 2010). Isto se torna possível pois, por meio do método de graus dia, pode-se determinar o período de ocorrência da máxima área foliar, que coincide com a fase da cultura na qual ocorrem os maiores valores de coeficiente de cultivo (Kc) e também com o período no qual necessitar-se-ia de uma maior incidência de radiação solar e de uma maior disponibilidade de água no solo, tanto no caso de plantio sequeiro como no irrigado (ALMEIDA et al., 2008). O somatório dos graus dia aumentou na medida em que o ciclo da cultura foi maior.

Na Figura 3 são apresentadas a variação da ETo e da ETc durante as safras 2015 - 2016 e 2016 - 2017 nas fazendas comerciais.

Figura 3. ETo e ETc nas fazendas comerciais em Andradina (A) e Rubineia (B) durante as safras 2015-2016 e 2016-2017



Na Figura 3A, que representa a fazenda comercial em Andradina, observa-se que a ETc e a ETo apresentaram pouca variação entre os setores nas duas safras – já demonstrado também nas Tabelas 3 e 4, nas quais calculou-se o desvio padrão e o resultado obtido foi próximo a zero. O mesmo comportamento é evidenciado na Figura 3B para a fazenda comercial em Rubineia; com o desvio padrão próximo a zero – como apresentado nas Tabelas 5 e 6. Assim, estes valores representam a não existência de diferença na necessidade hídrica da cana-de-açúcar entre variedades; contudo, novos estudos devem ser

realizados para atestar estes valores como a determinação da evapotranspiração atual da cultura ETa para cana irrigada; dado que, ao determinar a ETa da cultura sem submissão da planta ao estresse hídrico, comparada com a ETc, dar-nos-ia uma melhor informação entre a variação entre variedades.

Allen et al. (1998) consideram que a ETa pode ser igual a ETc quando a cultura se encontra com boas condições no campo, ou desviar-se deste valor devido más condições como presença de pragas e doenças, salinidade do solo, baixa

fertilidade e limitação ou excesso de água no solo.

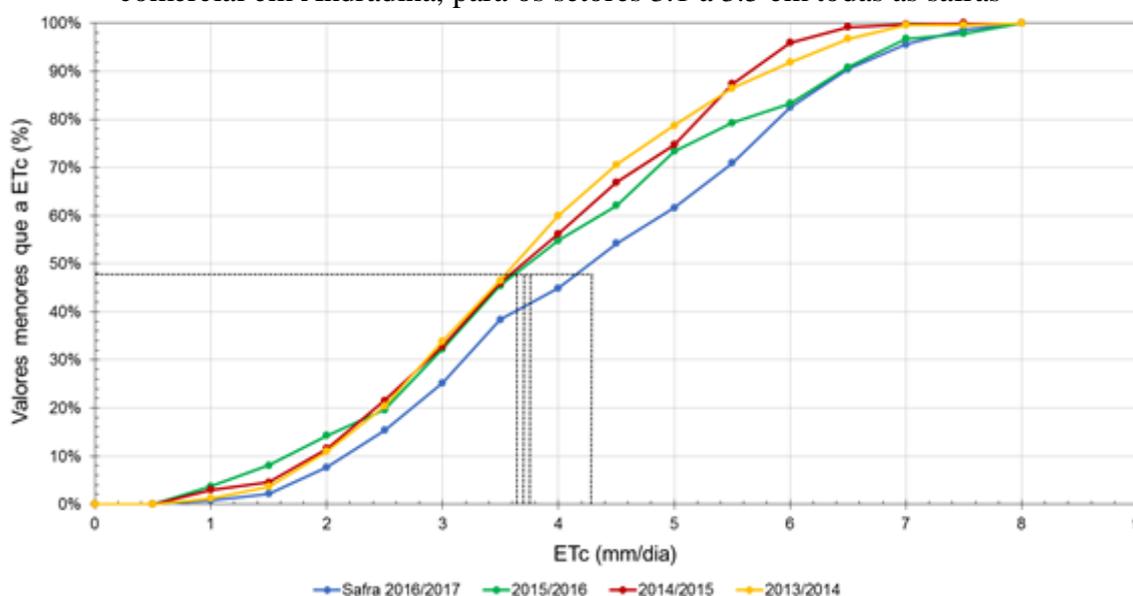
De acordo com Hernandez et al. (2003), a região do Noroeste Paulista apresenta os maiores índices de evapotranspiração do Estado de São Paulo, porém, entre as duas fazendas, observa-se valores médios de ETo menores na área Rubineia com relação a área Andradina, com diferença de até 14%. Tal diferença evidencia a necessidade de haver estações

agrometeorológicas o mais próximo possível da área que será analisada.

De acordo com a Figura 3B, nota-se que as maiores variações entre a ETc e a ETo médias, na safra 2015-2016, ocorreram nos talhões 101, 102 e 111 – fato registrado na Tabela 5, na qual os valores variaram 8,3%.

Na Figura 4 é apresentada a variação da ETc durante o ciclo produtivo nas quatro safras para a área Andradina (setores 3.1 a 3.5).

Figura 4. Distribuição de frequência da evapotranspiração da cultura (ETc), na fazenda comercial em Andradina, para os setores 3.1 a 3.5 em todas as safras



Observa-se na Figura 4 que os valores médios de lâmina para cada safra representam quase 50% dos valores menores que a ETc, ou seja, a metade dos valores da ETc diária ocorrida no ciclo são menores do que o valor médio e a outra metade maior; chegando ao valor extremo de 8 mm dia⁻¹. Estes valores diferem-se aos determinados por Thompson e Boyce (1967) que obtiveram valores máximos de ETc igual a 6,8 mm dia⁻¹ para a o ciclo da cana-de-açúcar medida a partir de estudos realizados com lisímetros; já Inman-Bamber e Smith (2005) citam que, em estudos de medição de água no solo, obtiveram valores de ETc da ordem de 7,8 mm dia⁻¹.

A variação destes valores na Figura 4 torna-se importante para conhecermos a influência da ETc no ciclo produtivo da cana-de-açúcar e assim estes valores auxiliam no dimensionamento de projetos e na programação do manejo da irrigação; logo, um projeto de irrigação para os setores 3.1 a 3.5, deve ser dimensionado para aplicar lâminas diárias que variam entre 3,7 e 4,3 mm dia⁻¹, sendo definida uma lâmina média de 4,1 mm dia⁻¹.

Considerando que a área Andradina é dividida em dez talhões (e estes em setores), um projeto de irrigação teria que ser dimensionado para aplicar a lâmina média diária em todos os setores. Assim, a cultura não estaria sujeita ao estresse hídrico e alcançaria boa produtividade. Comparando a necessidade hídrica estimada neste trabalho com os valores estimados por Donzelli e Costa (2010), observa-se que, para uma demanda hídrica de 3,3 mm dia⁻¹, a

produtividade pode variar entre 100 e 120 toneladas de cana por hectare (TCH) quando a cultura encontra-se sem nenhuma restrição de nutrientes e água no solo.

Inman-Bamber (2004) cita que a máxima necessidade hídrica ocorre durante a fase de crescimento máximo; e que a deficiência hídrica durante esta fase e a fase de perfilhamento reduziria a produtividade final da cultura mas, para a fase de maturação, seria recomendável aplicar um leve estresse hídrico, aumentando a concentração de sacarose nos colmos. Segundo Bispo et al. (2017), em estudo para determinação da estimativa do consumo de água para cana-de-açúcar na região do Noroeste Paulista, a cultura apresenta menores riscos de perdas de produtividade por deficiência hídrica, logo, a cultura estaria exposta a um baixo risco climático se as fases de brotação e emergência ocorressem entre os meses março a maio. Entretanto, as de perfilhamento e crescimento do colmo – com ocorrência nos meses de agosto e outubro – são desfavoráveis ao cultivo, sendo necessária utilização de irrigação. Segundo a ANA (2017), já foram contabilizados 1,7 milhões de hectares irrigados, apresentando aumento da produtividade média com relação à cana plantada no sequeiro.

6 CONCLUSÃO

A necessidade hídrica total ao longo dos ciclos da cultura para a região apresentou valores distintos para as duas áreas de estudo, com valores extremos de 1095 mm/safra e ETo média diária 3,5 mm dia⁻¹ para a fazenda comercial em Rubineia e 1595 mm/safra e 4,1 mm dia⁻¹ para a fazenda comercial em Andradina. A variação da necessidade hídrica entre as fazendas ocorreu devido ao ciclo da cultura, aos dias necessários para atingir a data de corte da cana-de-açúcar e aos valores de ETo.

O correto entendimento e aplicação dos valores de coeficientes de cultivo (Kc) e de evapotranspiração de referência (ETo) – informações básicas necessárias para utilizarmos de maneira sustentável os recursos hídricos na agricultura irrigada – possibilitou estimar a necessidade hídrica da cana-de-açúcar na região do noroeste paulista.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela Bolsa de Mestrado concedida ao primeiro autor e à FAPESP pelo apoio financeiro (Processo 2.009/52.467-4).

8 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Levantamento da cana-de-açúcar irrigada na região Centro-Sul do Brasil. Brasília, DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2017. 31 p.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56. Rome, 1998. 300p.
- ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 1441-1448, set./out. 2008.
- ASCOLI, A.; HERNANDEZ, F. B. T.; SENTELHAS, P. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; AMENDOLA, E.C.; ASCOLI, R.T. Necessidade de irrigação na cultura da cana-de-açúcar em função da época de colheita. In: Inovagri International Meeting, 4; CONIRD - Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 26; SBS - Simpósio Brasileiro de Salinidade, 3., 2017, **Anais...** Fortaleza, 2017.
- AZEVEDO, P. V. DE; RAO, T. V. R.; AMORIM NETO, M. DA S.; BEZERRA, J. R. C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MACIEL, G. F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 7, p. 863-870, Jul. 1993.
- BERNARDO, S. Manejo da irrigação na cana de açúcar. Palestra no **XVI CONIRD-** Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Goiânia, 2006. 11p. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3j1wle6b8.pdf>. Acesso em: 24 de dezembro de 2017.
- BISPO, R. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Balanço hídrico e estimativa do consumo relativo de água da cultura da cana-de-açúcar na região Noroeste Paulista. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA e INOVAGRI, v.1, n.1, p. 94-101, set. 2017.
- CARMO, J. F. A. DO; MOURA, M. S. B. DE; SILVA, T. G. F. DA; CAMPOS, C. DE O.; BRANDÃO, E. O.; SOARES, J. M. Análise biométrica da cana-de-açúcar irrigada em relação aos graus-dia acumulados no Submédio do São Francisco. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, A Amazônia e o clima global: **Anais...** SBMET, Belém, 2010.
- CHAVES, S. W. P.; AZEVEDO, B. M.; MEDEIROS, J. F.; BEZERRA, F. M. L.; MORAIS, N. B. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 3, p. 262-267, 2005.
- DONZELLI, J. L.; COSTA, V. M. Workshop - Impacto da produção de etanol no balanço hídrico nas regiões de expansão. CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, p.1-2, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. FAO, Yield response to water. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33. Rome, 1979. 193p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. Crop water requirement. FAO, Irrigation and Drainage Paper, 24. Rome, Italy 1977. 144p.

HERNANDEZ, F.B.T.; SOUZA, S.A.V. de; ZOCOLER, J.L.; FRIZZONE, J.A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d' oeste, estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 21-30, 2003.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p. 107-122, Sept. 2004.

INMAN-BAMBER, N. G. AND SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202. Jun. 2005.

LEMOS FILHO, J. P.; VILLA NOVA, N. A.; PINTO, H. S. A model including photoperiod in degree days for estimating Hevea bud growth. **International Journal of Biometeorology**, Leiden, v. 41, n. 1, p. 1-4, 1997.

PIVETTA, C. R.; HELDWEIN, A. B.; MALDANER, I. C.; RADONS, S. R.; TAZZO, I. F.; LUCAS, D. D. Evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas, Revista Brasileira de **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 768-775, fev. 2010.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Stuttgart, v.185, p.249-258, Dec. 2000.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**, Piracicaba, 1.ed. p.19-36, 2006.

SILVA, T.G.F.; MOURA, M.S.B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J.M.; VIEIRA, V.J.S.; JÚNIOR, W.G.F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1257-1265, sep. 2011.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; JOSÉ M. SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. DE S.; JÚNIOR, W G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.1, p.64-71, nov. 2012.

SMITH D.M.; INMAN-BAMBER N. G. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p.185-202, 2005.

SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades sem Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, p. 28-12, set. 1999.

TEIXEIRA, A.H.C.; LEIVAS, J.F.; RONQUIM, C.C.; VICTORIA, D.C. Sugarcane Water Productivity Assessments in the São Paulo state, Brazil. **International Journal of Remote Sensing Applications**, v. 6, p. 84-95, Jun. 2016.

THOMPSON, G.D.; BOYCE, J.P. Daily measurements of potential evapotranspiration from fully canopied sugarcane. **Agricultural Meteorology**, v. 4, p. 267-279, Jul. 1967.

WIEDENFELD, B. Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. **Agricultural Water Management**, v. 64, p.169-181, 2004.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 665-671, 2008.