

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E DOSES DE NITROGÊNIO

ANDRÉA RAQUEL FERNANDES CARLOS DA COSTA¹; MÁRIO MONTEIRO
ROLIM²; DJALMA EUSÉBIO SIMÕES NETO³; MANASSÉS MESQUITA DA
SILVA⁴; GERÔNIMO FERREIRA DA SILVA⁵ E ELVIRA MARIA RÉGIS
PEDROSA⁶

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife-PE, Brasil. E-mail: andrearaquel19@hotmail.com

² Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife-PE, Brasil. E-mail: mariorolim10@uol.com.br

³ Estação Experimental de Cana-de-Açúcar, UFRPE, Rua Ângela Cristina C. P. de Luna, s/n, Novo, CEP: 55914-030, Carpina-PE, Brasil. E-mail: djalmasneto@hotmail.com

⁴ Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife-PE, Brasil. E-mail: manasses.ufrpe@gmail.com

⁵ Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife-PE, Brasil. E-mail: agrogefe@yahoo.com.br

⁶ Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife-PE, Brasil. E-mail: elvira.pedrosa@ufrpe.br

1 RESUMO

Dentre os fatores de produção, a irrigação e a adubação nitrogenada destacam-se como fundamentais para o aumento de produtividade e qualidade da cana-de-açúcar, assim, objetivou-se avaliar a produtividade e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (cana-planta) submetida a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. A pesquisa foi executada em Carpina-PE, na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar pertencente a Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os tratamentos consistiram, em quatro lâminas de irrigação (1498; 1614; 1739 e 1854 mm) e cinco doses de nitrogênio (0; 20; 40; 80 e 120 kg ha⁻¹) arranjados em faixas e delineados em blocos ao acaso com quatro repetições. As diferentes lâminas de irrigação, associadas às doses crescentes de nitrogênio proporcionaram aumento no rendimento de colmos e açúcar. Os teores de sólidos solúveis e de fibra da cana-de-açúcar diminuíram com o aumento das lâminas de irrigação, independentemente das doses de nitrogênio aplicadas. Os maiores teores de açúcar teórico recuperável e de sacarose no colmo da cana-de-açúcar, foram obtidos com a aplicação da lâmina de 1498 mm associada com a dose de 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*, rendimento, atributos tecnológicos, irrigação, adubação nitrogenada.

COSTA, A. R. F. C. da; ROLIM, M. M.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, M. M. da;
SILVA, G. F. da; PEDROSA, E. M. R.

PRODUCTIVITY AND TECHNOLOGICAL QUALITY SUGARCANE SUBMITTED
TO DIFFERENT WATER DEPTHS AND NITROGEN DOSES

2 ABSTRACT

Among factors that affect production, irrigation and nitrogen fertilization stand out as fundamental to increase productivity and quality of sugarcane, thus, the objective of this study was to evaluate productivity and technological quality of sugarcane (cane-plant) submitted to different water depths and nitrogen doses. The research was carried out in Carpina-PE, at the Experimental Station of Sugarcane belonging to the Federal Rural University of Pernambuco. Treatments consisted of four irrigation depths (1498; 1614; 1739 and 1854 mm) and five nitrogen doses (0; 20; 40; 80 and 120 kg ha⁻¹), arranged in strips and outlined in randomized blocks with four replications. The different irrigation depths associated with increasing doses of nitrogen provided an increase in yield of stalks and sugar. The soluble solids content and sugarcane fiber decreased with increasing water depths, regardless of the applied nitrogen doses. The highest levels of recoverable theoretical sugar and sucrose content in the cane sugarcane were obtained with the application of the 1498 mm irrigation depths associated with the dose of 20 kg ha⁻¹ of nitrogen.

Keywords: *Saccharum spp.*, yield, technological attributes, irrigation, nitrogen fertilization.

3 INTRODUÇÃO

Com a forte expansão da indústria sucroalcooleira, as áreas de canaviais brasileiros colhidas na safra 2017/2018 somam 8,7 milhões de hectares, dando ao Brasil o título de maior produtor mundial de cana-de-açúcar (CONAB, 2019). O Estado de Pernambuco tem sua importância no cultivo da cana-de-açúcar, atualmente com uma produção de 10,9 milhões de toneladas, representando 1,7% da produção nacional (CONAB, 2019).

Para satisfazer a expansão do mercado, o setor sucroalcooleiro deverá investir em tecnologias que proporcionem o aumento do rendimento da cultura (FARIAS et al., 2008). Desta forma, a irrigação destaca-se como uma das possibilidades para a otimização da produção de cana-de-açúcar. No Estado de Pernambuco, o uso dessa tecnologia é imprescindível, visto que a produção é fundamentada na agricultura de sequeiro ou apenas irrigação de “salvação” e isso pode acarretar em reduções na produtividade.

Grande parte das precipitações, na referida região concentram-se de três a quatro meses, sendo em geral, os demais

meses do ano, isentos de chuvas (CHAVES et al., 2013), fato este que proporciona redução no armazenamento de água no solo durante a época seca, levando a diminuições das taxas de evapotranspiração, de crescimento e de produtividade da cultura. Este cenário, demanda uma tomada de decisão em relação à viabilidade do uso mais tecnificado da irrigação na cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco.

Pesquisas envolvendo a cultura da cana-de-açúcar cultivada em regime de sequeiro e irrigado, (SILVA et al., 2015; RODOLFO JUNIOR et al., 2016; ARLANCH et al., 2018), têm chegado a constatações unânimes quanto aos acréscimos na produção da cultura irrigada comparado à cultura em condições de sequeiro ou sem uso de irrigação.

Associada à irrigação, a adubação nitrogenada, é também uma alternativa para aumentar a produtividade e qualidade da cana-de-açúcar. A produção de biomassa da cana-de-açúcar é elevada, implicando em grandes exigências em água e nitrogênio quando se almeja obter maiores produtividades da cultura (WIEDENFELD, 2000). Para a cana-de-açúcar o nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade

e essencial para o crescimento vigoroso, desenvolvimento vegetativo, rendimento e qualidade da produção.

De acordo Epstein e Bloom (2006), o nitrogênio classifica-se como um macronutriente essencial às culturas, estando este envolvido nas constituições citoplasmática da célula e de seus constituintes como aminoácidos, proteínas e vitaminas, além disso, é constituinte da molécula de clorofila e exerce influência sobre várias reações metabólicas vegetais. Entre todos os nutrientes essenciais às plantas, em geral, o N é o que proporciona maior aumento no crescimento, desenvolvimento vegetativo e rendimento das culturas, pois sua disponibilidade estimula o desenvolvimento e a atividade radicular proporcionando assim incrementos na absorção de nutrientes essenciais. Além disso, proporciona muitas modificações morfológicas e fisiológicas na planta devido seu envolvimento com processos metabólicos fundamentais tais como fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação das células.

Considerando a importância da irrigação e da adubação nitrogenada para a cana-de-açúcar, objetivou-se avaliar a produtividade e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (cana-planta) submetida a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área agrícola, no município de Carpina-PE, na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar (EECAC), pertencente a Universidade Federal de Pernambuco e, localizada nas seguintes coordenadas geográficas (7°51'13''S, 35°14'10''W, a 180 m de altitude).

O solo da área onde foi realizado o experimento é um Argissolo Amarelo distrófico abrupto (EMBRAPA, 2013). A caracterização física e química deste solo, nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m, encontra-se apresentada na (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental antes da aplicação dos tratamentos

Prof. (m)	Análises químicas								
	pH	P	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC ⁽¹⁾	m ⁽²⁾
	H ₂ O	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----			%
0-0,20	5,18	17,5	3,45	0,25	1,67	1,63	0,15	6,99	6,57
0,20-0,40	5,06	17,0	4,00	0,30	1,67	1,13	0,15	7,05	8,85
Prof. (m)	Análises físicas							Classe textural	
	Ds ⁽³⁾	Areia	Silte	Argila	Θ _{CC} ⁽⁴⁾	Θ _{PMP} ⁽⁵⁾			
	Mg m ⁻³	----- g kg ⁻¹ -----			---- m ⁻³ m ⁻³ ---				
0-0,20	1,72	848,7	13,9	137,4	0,15	0,10	Franco arenosa		
0,20-0,40	1,86	826,2	16,4	157,4	0,18	0,12	Franco arenosa		

⁽¹⁾ Capacidade de troca de cátions potencial; ⁽²⁾ saturação por alumínio; ⁽³⁾ densidade do solo; ⁽⁴⁾ capacidade de campo; ⁽⁵⁾ ponto de murcha permanente.

O preparo do solo, foi realizado 60 dias antes da instalação do experimento, e consistiu de uma gradagem (grade aradora e grade niveladora) para destorroamento, destruição dos restos culturais, incorporação do calcário, sistematização da

área e posterior abertura dos sulcos de plantio. Para correção da acidez do solo aplicou-se calcário calcítico na dose de 465 kg ha⁻¹, onde para o cálculo da quantidade a aplicar utilizou-se o método da neutralização do alumínio trocável de

acordo com recomendações de Cavalcanti et al. (2008).

A adubação foi realizada toda em fundação, conforme recomendações de Cavalcanti et al. (2008), com aplicação de 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ de K₂O e o nitrogênio (de acordo com cada tratamento). Como fontes de nitrogênio, fósforo e potássio foram utilizadas, respectivamente, a ureia, o superfosfato simples, o cloreto de potássio.

Os tratamentos consistiram, em quatro lâminas de irrigação e cinco doses de nitrogênio. As lâminas de irrigação utilizadas no experimento foram estabelecidas com base nos valores de evapotranspiração da cultura, sendo estas: L₀=1498, L₁ = 1614, L₂ = 1739 e L₃ = 1854 mm, estando incluso os valores da precipitação pluvial acumulada e lâmina inicial aplicada (1360 + 138 mm). As doses de nitrogênio foram determinadas com base nas recomendações de Cavalcanti et al. (2008) para cana-planta, sendo: N₀ = 0 kg ha⁻¹, N₁= 20 kg ha⁻¹ N₂ = 40 kg ha⁻¹ (Testemunha), N₃ = 80 kg ha⁻¹ e N₄=120 kg ha⁻¹, arranjados em faixas e delineados em blocos casualizados, com quatro repetições.

O plantio foi realizado manualmente, utilizando-se mudas da variedade de cana-de-açúcar RB92579. As parcelas experimentais foram constituídas por 10 fileiras de plantas, espaçadas de 1,10 m entre si, com 6,0 m de comprimento,

totalizando uma área de 66,0 m² e área útil de 39,6 m², com um total de 80 parcelas experimentais.

O sistema de irrigação utilizado, foi o de aspersão em linha (line source sprinkler system) de acordo com metodologia desenvolvida por Hanks et al. (1976). O sistema de irrigação foi formado por sete aspersores, espaçados entre si de 15 m, e conectados a uma linha central que estava sobre uma tubulação localizada no centro do experimento. Os aspersores foram do tipo mini-canhão KS 1500 - PLONA, com bocais de diâmetro de 16,0 × 5,0 mm, pressão de serviço de 25 mca, vazão nominal de 13,61 m³ h⁻¹ e diâmetro molhado de 60 m.

Por meio de avaliações realizadas no sistema de irrigação, foram obtidas a relação entre a lâmina de referência L₂ (100%) e as demais e, também, as respectivas lâminas aplicadas por tratamento. Os ensaios para medição das lâminas de irrigação, foram feitos por meio da distribuição de linhas de coletores individuais colocados perpendicularmente à linha onde se encontrava os aspersores, cinco em cada parcela, espaçados de 1 m entre si, distribuídos em cada bloco experimental entre as linhas de plantio, sendo as lâminas definidas pela média do volume de água coletada nos coletores de cada parcela experimental (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da avaliação do sistema de irrigação e volume total de água de cada tratamento

Lâminas	Ia (mm h ⁻¹) ⁽¹⁾	Li (%) ⁽²⁾	La (mm) ⁽³⁾	L (mm) ⁽⁴⁾	P (mm) ⁽⁵⁾	Lt (mm) ⁽⁶⁾
L ₃	27,8	150	356	138	1360	1854
L ₂	18,5	100	241	138	1360	1739
L ₁	9,6	48	116	138	1360	1614
L ₀	0,0	0	0	138	1360	1498

⁽¹⁾ Intensidade de aplicação do sistema de irrigação; ⁽²⁾ Lâmina de irrigação baseada na evapotranspiração da cultura; ⁽³⁾ Lâmina aplicada via irrigação durante o ciclo da cultura (mm); ⁽⁴⁾ Lâmina inicial aplicada; ⁽⁵⁾ precipitação pluviométrica ocorrida durante o experimento; ⁽⁶⁾ Lâmina total (mm).

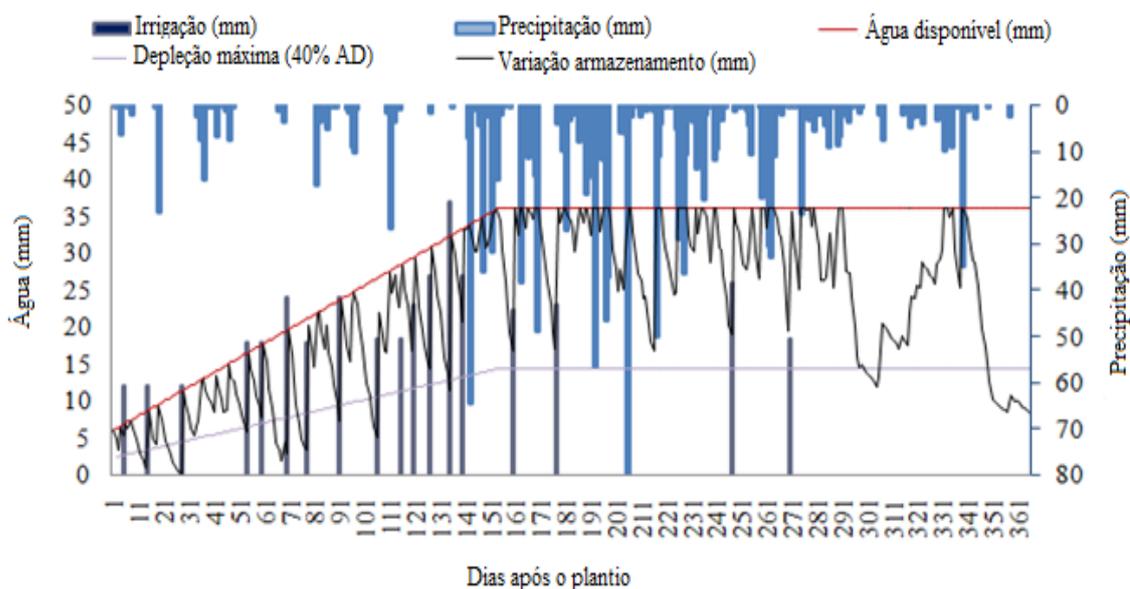
A irrigação foi realizada quando a diferença entre o somatório da

evapotranspiração diária da cultura (ETc) e a precipitação ocorrida no período atingia 40% da água total disponível no solo.

A determinação da água total disponível no solo foi realizada por meio dos valores encontrados para a capacidade

de campo e para ponto de murcha permanente do solo, além da profundidade do sistema radicular. Os dados do balanço hídrico durante o cultivo da cana-planta, e estão apresentados na Figura 1.

Figura 1. Balanço hídrico durante o cultivo da cana-planta



Por meio da equação abaixo foi determinada a evapotranspiração diária da cultura:

$$ETc = ECA \times Kp \times Kc \quad (1)$$

Onde:

ECA = evaporação do tanque Classe A, mm;

Kp = coeficiente do tanque Classe A;

Kc = coeficiente de cultura.

Os valores de Kp foram obtidos de acordo com Doorenbos e Pruitt (1976) utilizando-se os dados de velocidade do vento, umidade relativa e evaporação do tanque classe A, instalado próximo à área experimental, com vegetação rasteira contendo bordadura de 10 m. A determinação do Kc foi feita por meio da utilização de valores recomendados por

Doorenbos e Kassam (1994) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

Nos três primeiros meses do ciclo da cultura foram realizadas irrigações uniformes em todos os tratamentos, totalizando uma lâmina de 138 mm, devido o plantio ter sido realizado no verão, época mais seca do ano, de modo a assegurar

uniformidade de brotação e estabelecimento das plantas. Essas irrigações foram realizadas por aspersão com canhão móvel, utilizando-se um bocal com diâmetro de quatro polegadas e vazão de $54 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e uma pressão de 40 m de coluna de água. Em seguida, iniciou-se a aplicação das lâminas diferenciadas, utilizando-se o sistema de aspersão em linha “line source sprinkler system”. Aos 270 DAP a irrigação foi cessada, visando-se a redução do crescimento vegetativo da cultura e, conseqüentemente, acelerar a maturação fisiológica.

A produtividade foi avaliada por meio da pesagem total dos colmos da área útil no momento da colheita, com um dinamômetro da marca Crown BR (OSWALDO FILIZOLA, Ltda) com capacidade para pesar até 1000 kg e os valores expressos em Mg ha^{-1} .

Em cada parcela útil foi retirada uma amostra de dez colmos que foram encaminhados ao Laboratório Agroindustrial da Usina Petribu S/A, em Pernambuco, para determinação do teor de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$), teor de sacarose do caldo (Pol do caldo), teor de sacarose da cana (Pol da cana), açúcar teórico recuperável (ATR) e fibra, seguindo procedimentos metodológicos adotados por Fernandes (2003).

Visando-se a coleta do caldo do colmo, durante um minuto e sob pressão de 250 kg cm^{-2} , as amostras foram prensadas em prensa hidráulica automática MA098, (Marconi Equipamentos para Laboratório, Ltda). O $^{\circ}\text{Brix}$ foi determinado a partir do caldo extraído da amostragem de cana-de-açúcar e para cada amostra, utilizando-se um refratômetro digital Autopol 589,

(Tecnal), dotado de correção automática de temperatura. O teor de sacarose aparente no caldo (Pol do caldo) foi determinado utilizando-se um aparelho denominado sacarímetro automático Autopol 589 (Tecnal).

No caso da fibra, açúcar teórico recuperável (ATR) e percentagem de sacarose no colmo (Pol da cana), foram determinados por meio de equações preconizadas por Fernandes (2003) e Carvalho et al. (2008). A produtividade de açúcar (T ha^{-1}) foi obtida através do produto entre o teor de sacarose no colmo (Pol da cana) e a produtividade de colmos.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk), em seguida, à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e, quando constatados efeitos significativos para a ANOVA, estes dados foram analisados por meio de análise de regressão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se (Tabela 3) efeito significativo, ao nível de 1% de probabilidade, da interação entre lâminas de irrigação (L) e doses de nitrogênio (N) sobre as produtividades de colmos e de açúcar, e para as variáveis açúcar teórico recuperável (ATR) e teor de sacarose da cana (Pol cana) efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade. Observa-se, ainda, por meio do resumo da ANOVA que o teor de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) e de fibra, foram influenciadas pelo efeito isolado das lâminas de irrigação, aos níveis de significância de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para a produtividade de colmos e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar (cana-planta), variedade RB92579, em função de lâminas de irrigação (L) e doses de nitrogênio (N)

FV	GI	Produtividade		Atributos do caldo		Atributos da cana		
		Colmos	Açúcar	°Brix	Pol	ATR	Pol	Fibra
		Mg ha ⁻¹	kg Mg ⁻¹	----- (%)	-----	kg Mg ⁻¹	----- (%)	-----
Bloco	3	0,307 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,405 ^{ns}	0,334 ^{ns}	0,364 ^{ns}	0,8 ^{ns}
L	3	208,49 ^{**}	66,45 ^{**}	4,7 [*]	0,996 ^{ns}	1,831 ^{ns}	1,41 ^{ns}	7,3 ^{**}
Erro(L)	9	-	-	-	-	-	-	-
N	4	140,97 ^{**}	140,78 ^{**}	0,4 ^{ns}	1,416 ^{ns}	3,389 [*]	3,145 [*]	0,7 ^{ns}
Erro(N)	12	-	-	-	-	-	-	-
LxN	12	9,63 ^{**}	3,87 ^{**}	0,8 ^{ns}	1,825 ^{ns}	2,184 [*]	2,563 [*]	1,0 ^{ns}
Erro(L.N)	36	-	-	-	-	-	-	-
Média		124,26	20,02	20,5	18,2	153,86	16,03	12,9
CV(L) (%)		4,78	9,24	4,24	8,77	9,38	11,61	5,44
CV(N) (%)		9,59	9,54	5,73	4,85	4,07	4,24	6,01
CV(LxN) (%)		4,79	8,10	5,73	6,60	6,69	7,56	8,10

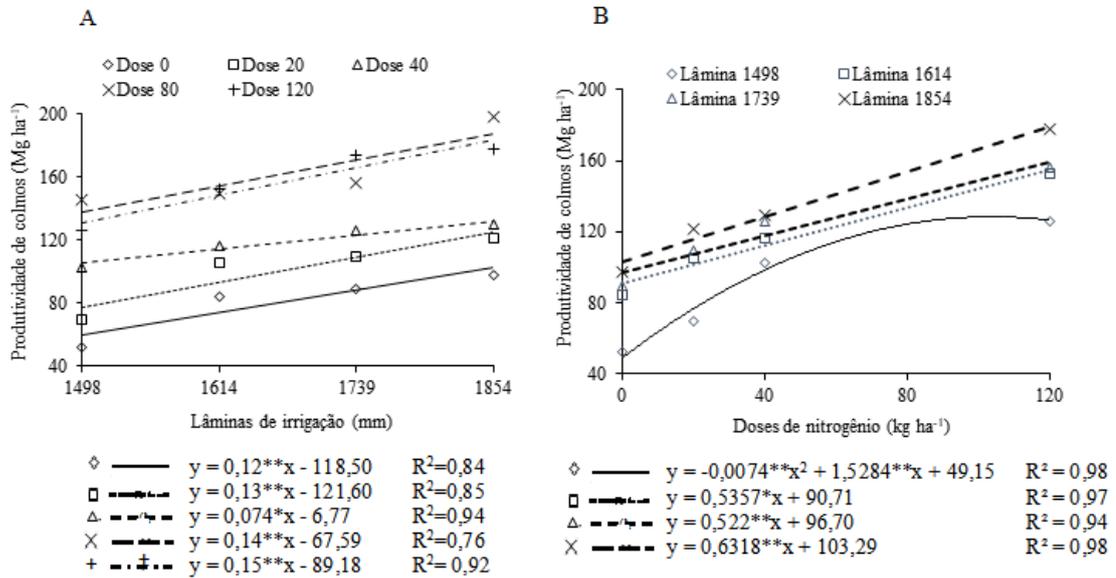
^{ns} Não significativo; * e ** Significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Avaliando-se a produtividade de colmos, em função das lâminas de irrigação aplicadas, dentro de cada uma das doses de nitrogênio (Figura 2A), verificou-se aumento linear na produtividade das plantas nas cinco doses de nitrogênio avaliadas. Constata-se que a maior produtividade de colmos (191,97 t ha⁻¹) foi obtida com a aplicação da lâmina de irrigação de 1854 mm associada com a dose de 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Por outro lado, a menor lâmina de irrigação (1498 mm) na ausência de adubação nitrogenada proporcionou a menor produtividade da cultura (61,26 t ha⁻¹). Essa combinação é 48%, superior a reposição de água pela evapotranspiração

da cultura e quanto à aplicação de nitrogênio é 100% superior a recomendada para a cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco.

Ao analisar a produtividade de colmos em função das doses de nitrogênio dentro de cada uma das lâminas de irrigação aplicadas (Figura 2B), verificou-se que a maior produtividade de colmos (179,11 t ha⁻¹) foi obtida com a aplicação da dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio associada com a lâmina de irrigação de 1854 mm. A menor produtividade (49,15 t ha⁻¹) foi obtida na ausência de adubação nitrogenada associada com a menor lâmina de irrigação (1498 mm).

Figura 2. Produtividade de colmos da cana-de-açúcar (cana-planta), variedade RB92579, em função das lâminas de irrigação aplicadas dentro das doses de nitrogênio (A) e das doses de nitrogênio dentro das lâminas de irrigação aplicadas (B)



Maduri, Kumar e Sarala (2011), estudando o efeito de doses de nitrogênio sobre o rendimento de variedades de cana-de-açúcar, também constataram que o rendimento da cultura foi influenciado positivamente pela aplicação de doses maiores que a recomendada. Segundo os autores, isso ocorre provavelmente devido a influência do nitrogênio em vários processos e participação em compostos da planta, relacionados ao aumento do desenvolvimento vegetativo e do rendimento da cultura.

O fato da maior dose de nitrogênio (120 kg ha⁻¹) associada a maior lâmina de irrigação aplicada (1854 mm) não ter proporcionado a maior produtividade de colmos para a cultura (Figura 2A) pode ter ocorrido em detrimento dessa dose ter sido excessiva e ter afetado negativamente variáveis fisiológicas importantes da cultura, como a síntese de clorofila, de aminoácidos e a produção de energia indispensável para a produção de carboidratos. Outra possível explicação deve-se às próprias variações de respostas da cana-de-açúcar a adubação nitrogenada, tendo em vista que as respostas da cultura a

esse nutriente são mais evidentes em ciclos de cana-soca em relação ao ciclo de cana-planta, tal como reportado por Schultz, Reis e Urquiaga (2015) e Bastos et al. (2017).

Segundo Teodoro (2011), as respostas positivas da cana-de-açúcar à fertilização com nitrogênio se dão até determinado ponto e, posteriormente, o excesso do nutriente pode proporcionar toxidez nas plantas e, conseqüentemente, prejuízos no rendimento da cultura. Ainda de acordo com o autor, é por isso que as curvas e as superfícies de respostas da produtividade da cultura da cana-de-açúcar em função de fatores de produção como irrigação e fertilização nitrogenada, são fundamentais para a quantificação desses fatores durante os cultivos, tornando-os viáveis economicamente pois os maiores níveis as vezes não são aqueles que proporcionam as maiores rentabilidades.

O comportamento linear dos dados da produção de colmos, obtidos no presente experimento em função das lâminas de irrigação aplicadas dentro das doses de nitrogênio (Figura 2A), evidencia que o aumento da aplicação das lâminas de irrigação potencializou o efeito das doses de

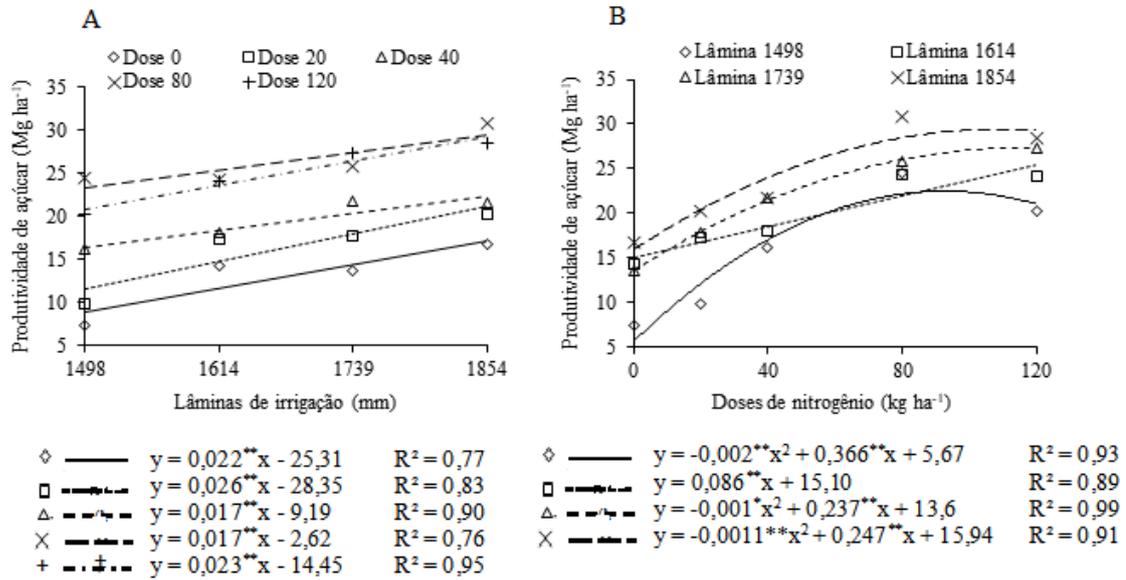
nitrogênio aplicadas, o que veio a se refletir em uma maior produtividade de colmos pela cultura com a aplicação da maior lâmina de irrigação. Por outro lado, a restrição de água, limitou a potencialização do efeito das doses de nitrogênio, fato este constatado pela redução da produtividade de colmos na menor lâmina de irrigação (1498 mm) em relação a maior (1854 mm).

De acordo com Oliveira (2011), a adequada disponibilidade hídrica aliada ao fornecimento de nitrogênio podem favorecer o crescimento radicular, aumentando a absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar, vindo a contribuir para que os componentes das plantas acumule esses nutrientes em níveis adequados, tornando-as equilibradas nutricionalmente, conferindo produtividade de colmos e qualidade de açúcar não somente em um ciclo de produção, mas com efeito aditivo nos ciclos posteriores, proporcionando maior longevidade do canavial. Desse modo, além de aumentar a produtividade de colmos de cana-de-açúcar, a adubação nitrogenada e a disponibilidade hídrica adequadas podem gerar efeito sinérgico durante o processo de absorção de outros nutrientes considerados essenciais para a cultura (FRANCO et al., 2007).

A produtividade de açúcar em função das lâminas de irrigação aplicadas dentro de cada uma das doses de nitrogênio (Figura 3A) seguiu o mesmo comportamento da produtividade de colmos, tendo-se observado aumento linear na produtividade de açúcar com o incremento das lâminas de irrigação em todas as doses de nitrogênio aplicadas. A maior produtividade de açúcar (28,9 t ha⁻¹) foi obtida com a aplicação da lâmina de irrigação de 1854 mm associada com a dose de 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Por outro lado, a menor produtividade (7,65 t ha⁻¹) foi obtida com a menor lâmina de irrigação (1498 mm) na ausência de adubação nitrogenada.

Analisando a produtividade da cana-de-açúcar em detrimento das doses de nitrogênio aplicadas, dentro de cada uma das lâminas de irrigação (Figura 3B), constatou-se que a maior produtividade de açúcar (29,8 t ha⁻¹), foi obtida com a aplicação da dose de 112,27 kg ha⁻¹ de nitrogênio, associada com a aplicação da maior lâmina de irrigação (1854 mm). De outro modo, a menor produtividade (5,67 Mg ha⁻¹) foi obtida na ausência de adubação com nitrogênio e com a menor lâmina de irrigação aplicada (1498 mm).

Figura 3. Produtividade de açúcar (cana-planta), variedade RB92 579, em função das lâminas de irrigação aplicadas dentro das doses de nitrogênio (A) e das doses de nitrogênio dentro das lâminas de irrigação aplicadas (B)



Os resultados das maiores produtividades de açúcar observados nesta pesquisa e, obtidos com a mesma lâmina e dose de nitrogênio que proporcionaram as maiores produtividades de colmo (Figuras 3A e 2A) e (Figuras 3B e 2B), estão coerentes com a literatura, tendo em vista que a produtividade de açúcar depende do rendimento do colmo da cultura, ou seja, maior rendimento de colmos, maior rendimento de açúcar.

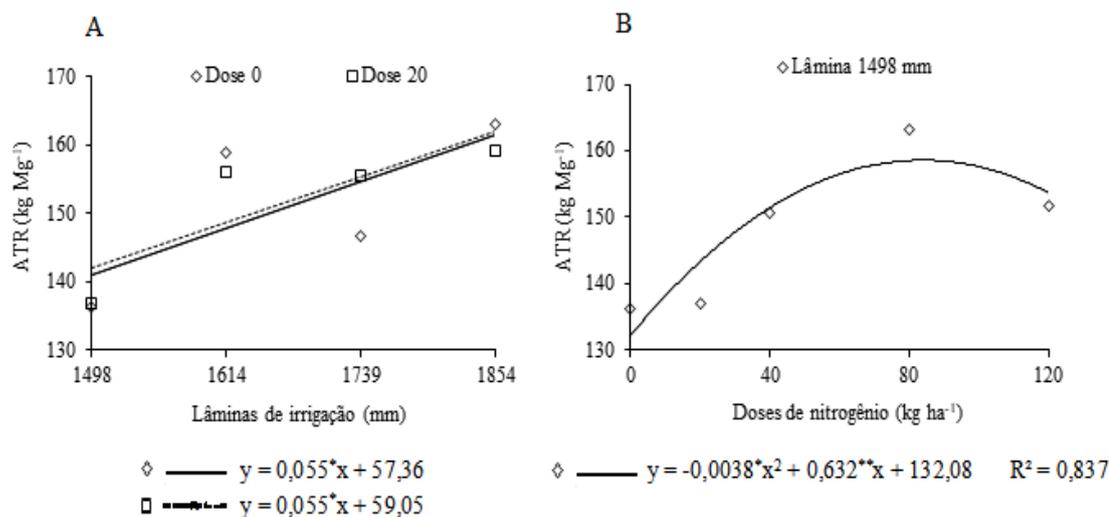
Tal como verificado nesta pesquisa, Bahrani et al. (2009), avaliando o comportamento produtivo da cana-de-açúcar (cana-planta) sob irrigação e adubação nitrogenada também verificaram aumento na produtividade de açúcar da cultura com o aumento do volume de água aplicado e da adubação nitrogenada, tendo a maior produtividade de açúcar (13,4 t ha⁻¹) sido obtida com a dose de nitrogênio de 86 kg ha⁻¹.

O teor de açúcar teórico recuperável (ATR) em função das lâminas de irrigação aplicadas dentro de cada uma das doses de

nitrogênio (Figura 4A), aumentou linearmente nas doses de nitrogênio de 0 e 20 kg ha⁻¹. Observa-se que o maior ATR (161,02 kg Mg⁻¹) foi obtido com a aplicação da lâmina de irrigação de 1854 mm associada com a dose de 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Por outro lado, a menor produtividade (141,44 kg Mg⁻¹) foi obtida com a menor lâmina de irrigação (1498 mm) na ausência de adubação nitrogenada.

Quanto ao efeito das doses de nitrogênio dentro de cada uma das lâminas de irrigação aplicadas sobre o ATR, observou-se efeito significativo apenas para a lâmina 1498 mm, tendo-se os dados ajustado-se ao modelo quadrático (Figura 4B). Verifica-se que a maior produtividade de ATR (158,36 kg Mg⁻¹) foi obtida com a dose de 83,16 kg ha⁻¹. A partir desta dose, o ATR decresceu, atingindo na dose de nitrogênio de 120 kg ha⁻¹ valor médio de 153,2 kg Mg⁻¹, ou seja, houve uma redução de 3,25% no teor de açúcar teórico recuperável da dose de nitrogênio de 80 kg ha⁻¹ para a dose de 120 kg ha⁻¹.

Figura 4. Teor de açúcar teórico recuperável (ATR) da cana-de-açúcar (cana-planta), variedade RB92579, em função das lâminas de irrigação aplicadas dentro das doses de nitrogênio (A) e das doses de nitrogênio dentro das lâminas de irrigação aplicadas (B)



Os resultados obtidos para o ATR, corroboram àqueles obtidos por Franco et al. (2010) que, avaliando o comportamento da cana-planta à adubação nitrogenada de plantio também verificaram redução (5,3%) no ATR da cana-de-açúcar da dose de nitrogênio de 80 kg ha⁻¹ para a dose 120 kg ha⁻¹.

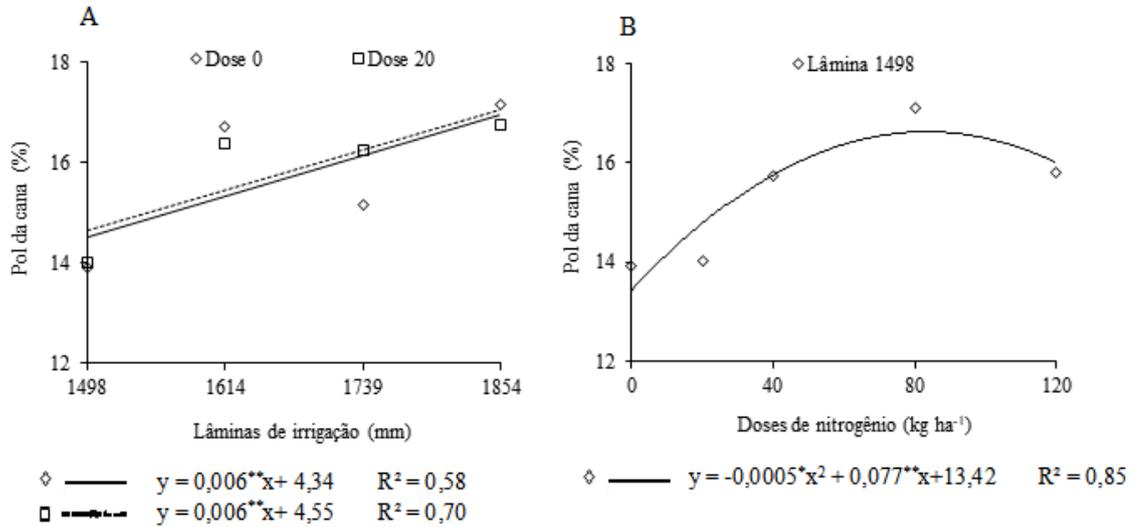
Vieira et al. (2012), estudando a produtividade de colmos e de rendimento de açúcares da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de água, constataram que o maior rendimento de açúcares 141,3 kg por tonelada de colmos foi obtido com a lâmina de 1.617,7 mm, onde a partir desta lâmina, o teor de açúcares foi reduzido, devido à maior quantidade de água que estava disponível para a cultura, concordando com Oliveira et al. (2012) os quais afirmam que o excesso de água e/ou nitrogênio está associado com o maior crescimento vegetativo da planta, correlacionando-se positivamente com o teor de umidade e negativamente com a acumulação de açúcares. Os valores de ATR encontrados no presente trabalho são

superiores àqueles constatados por Farias et al. (2009) que foram de 147 kg Mg⁻¹.

Os dados do teor de sacarose (Pol) no colmo da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação aplicadas dentro de cada uma doses de nitrogênio (Figura 5A) seguiram comportamento semelhante àqueles obtidos para o ATR, tendo-se observado aumento linear no Pol da cana com o incremento das lâminas de irrigação nas doses 0 e 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Observa-se que o maior Pol da cana (15,7%) foi obtido com a aplicação da lâmina de irrigação de 1854 mm associada com a dose de 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Por outro lado, o menor valor (13,3%) foi obtido com a menor lâmina de irrigação (1498 mm) na ausência de adubação nitrogenada.

O Pol da cana-de-açúcar também foi avaliado em resposta às doses de nitrogênio e em cada lâmina de água estudada (Figura 5B). Observou-se que o teor de sacarose foi influenciado apenas pela lâmina de 1498 mm, sendo o maior teor (16,39%) obtido na dose de nitrogênio de 77 kg ha⁻¹, reduzindo para 15,46% com a aplicação da dose de nitrogênio de 120 kg ha⁻¹.

Figura 5. Teor de sacarose (Pol) no colmo da cana-de-açúcar (cana-planta), variedade RB92579, em função das lâminas de irrigação aplicadas dentro das doses de nitrogênio (A) e das doses de nitrogênio dentro das lâminas de irrigação aplicadas (B)



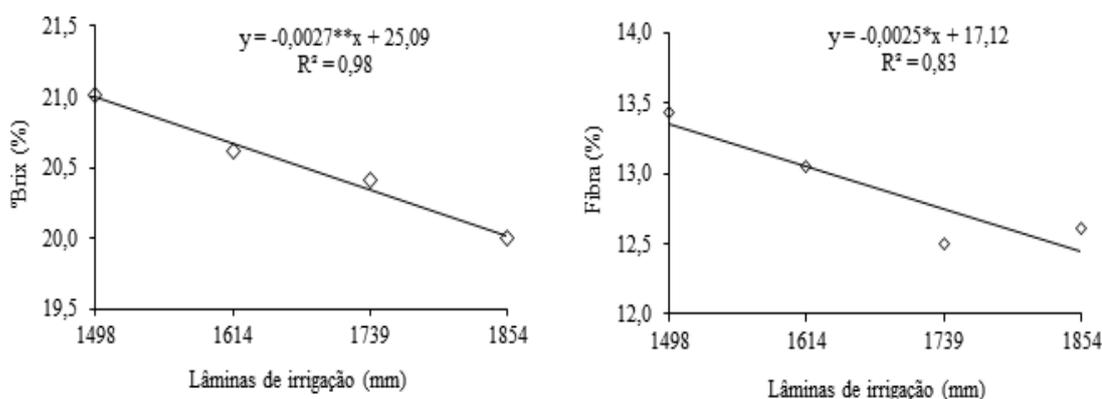
Segundo Silva et al. (2009), o Pol da cana-de-açúcar apresenta tendência de redução a medida que se incrementa a adubação nitrogenada, pois o nitrogênio em excesso provoca prejuízo ao rendimento de sacarose, diminuindo assim sua concentração. Para Malavolta (2006), o aumento excessivo de nitrogênio provoca redução do armazenamento de açúcares pelo colmo da cana-de-açúcar em virtude da cultura sob tais condições aumentar o consumo de esqueletos carbônicos para a produção de massa vegetal e, conseqüentemente, reduzir o armazenamento.

Avaliando a qualidade industrial da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação em Tabuleiro Costeiro paraibano, Farias et al. (2009) observaram forte correlação entre as variáveis analisadas, tendo constatado para as maiores lâminas de

irrigação aplicadas aumentos nos teores de sacarose, sólidos solúveis totais (°Brix), pureza e ATR (açúcares totais recuperáveis). Ainda de acordo com os autores, uma das principais causas do incremento dos teores de sacarose na cana-de-açúcar é a disponibilidade de água na irrigação.

Os teores de sólidos solúveis (°Brix) (Figura 6A) e de fibra (Figura 6B) da cana-de-açúcar foram reduzidos linearmente com o aumento das lâminas de irrigação aplicadas. Verifica-se que o valor máximo de sólidos solúveis (21%) foi obtido na lâmina 1498 mm e o mínimo (20%) na lâmina 1854 mm havendo uma redução de 4,8% no teor de sólidos solúveis da maior para menor lâmina de água aplicada (Figura 6A).

Figura 6. Teor de sólidos solúveis (°Brix) (A) e de fibra (B) da cana-de-açúcar (cana-planta), variedade RB92579, em função das lâminas de irrigação aplicadas



A redução do teor de sólidos solúveis verificadas com o aumento das lâminas de irrigação deve-se provavelmente a diluição mais acentuada dos sólidos do caldo em detrimento da maior disponibilidade de água no solo e, conseqüentemente, maior concentração no colmo, proporcionada pelo aumento das lâminas de irrigação aplicadas. A esse respeito, Scarpari e Beauclair (2008) verificaram que os menores valores de °Brix são encontrados em localidades de maior abundância de água, fato este justificado pela dissolução dos açúcares, indicando atraso da maturação. Oliveira et al. (2011) também verificaram decréscimos no teor de sólidos solúveis da cana-de-açúcar quando submetida a diferentes regimes hídricos.

A maior percentagem de fibra (13,37%) foi obtida com a lâmina de irrigação de 1498 mm e a menor (12,48%) com a lâmina de 1854 mm, havendo uma redução de 6,66% no teor de fibra da maior para a menor lâmina de irrigação aplicada. Esses resultados corroboram com aqueles obtidos por Farias et al. (2009) os quais também constataram redução no teor de fibras à medida que se aumentou o volume de água aplicado via irrigação.

Em condições de maior disponibilidade hídrica o colmo da cana-de-açúcar tende a possuir o percentual de fibra

inferior, uma vez que a disponibilidade de água irá influenciar no aumento do seu comprimento, fazendo com que a parede celular fique mais delgada e conseqüentemente haja uma diminuição na percentagem de fibra.

Apesar da constatação de redução da percentagem de fibra com o aumento das lâminas de irrigação aplicadas, os menores valores de fibra obtidos nesta pesquisa são ainda considerados como adequados, pois de acordo com Silva et al. (2014) quando o teor fibra na cana-de-açúcar apresenta valores abaixo de 10,5% torna-se insatisfatório em relação ao balanço energético nas usinas e alambiques, pois neste caso será necessário queimar um quantitativo maior de bagaço para poder assegurar o poder calorífico nas caldeiras. Segundo os autores supracitados, os valores médios para os teores de fibra na cana-de-açúcar variam de 10,5 a 12,5%.

6 CONCLUSÕES

As diferentes lâminas de irrigação associadas às doses crescentes de nitrogênio proporcionaram aumento no rendimento de colmos e de açúcar.

Os teores de sólidos solúveis e de fibra da cana-de-açúcar diminuíram com o aumento das lâminas de água

independentemente das doses de nitrogênio aplicadas.

Os maiores teores de açúcar teórico recuperável e de sacarose no colmo da cana-

de-açúcar foram obtidos com a aplicação da lâmina de 1498 mm associada com a dose de 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

7 REFERÊNCIAS

ARLANCH, A. B.; GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; DELLABIGLIA, W. J.; SCARPARE, F. V.; PIRES, R. C. M. Índices fisiológicos e a produtividade de genótipos de cana-de-açúcar nos manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 112-124, 2018. Edição Especial.

BAHRANI, M. J.; SHOMEILI, M.; ZANDE-PARSA, S.; KAMGAR-HAGHIGHI, A. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in subtropical Iran. **Iran Agricultural Research**, Shiraz, v. 28, n. 1, p. 17-26, 2009.

BASTOS, A.; TEODORO, J.; TEIXEIRA, M.; SILVA, E.; COSTA, D.; BERNARDINO, M. Efeitos da adubação nitrogenada e potássica no crescimento da cultura da cana-de-açúcar segunda soca. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 3, p. 554-566, 2017.

CARVALHO, C. M.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; MELO, E. P.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R. Resposta dos parâmetros tecnológicos da terceira folha de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 4, p. 337-342, 2008.

CAVALCANTI, F. L. A.; SANTOS, J. C. P.; PEREIRA, J. R.; LEITE, J. P.; SILVA, M. C. L.; FREIRE, F. J.; SILVA, D. J.; SOUSA, A. R.; MESSIAS, A. S.; FARIA, C. M. B.; BURGOS, N.; LIMA JÚNIOR, M. A.; GOMES, R. V.; CAVALCANTI, A. C.; LIMA, J. F. V. F. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**. 2. ed. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2008.

CHAVES, L. H. G.; DANTAS NETO, J.; FERNANDES, J. D.; ALVES, H. S.; RIBEIRO, P. H. P. Adubação silicatada e lâminas de irrigação no crescimento e produção da cana-de-açúcar. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 6, n. 3, p. 67-78, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, safra 2017/2018**. Brasília: MAPA, v. 4, n. 4, 2018. 73p. Available in: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana>. Access in 14 maio, 2019.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1976. (Estúdio FAO Riego y Drenage, 24).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; DANTAS NETO, J. Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em tabuleiro costeiro paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 419-428, 2009.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: STAB, 2003.

FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Brangantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 521-526, 2007.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 579-590, 2010.

HANKS, R. J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V. P.; WILSON, G. D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 40, n. 3, p. 426-429, 1976.

MADURI, K. V. N.; KUMAR, M. H.; SARALA, N. V. Influence of higher doses of nitrogen on yield and quality of early maturing sugarcane varieties. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 13, n. 1, p. 96-98, 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, J. F.; OLIVEIRA, A. C.; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 6, p. 617-625, 2011.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZU, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 6, p. 832-840, 2012.

RODOLFO JUNIOR, F.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; ROCHA, O. C.; BATISTA, L. M. T.; SILVA, F. A. M. Produtividade e qualidade de variedades de cana-de-açúcar de terceira soca sob regime hídrico variável. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 1, p. 36-43, 2016.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Variação espaço-temporal do índice de área foliar e brix em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 35-41, 2008.

SCHULTZ, N.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. **Resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada**: fontes nitrogenadas, formas de aplicação, épocas de aplicação e efeito varietal. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2015.

SILVA, A. B.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V. Rendimento e qualidade da cana-de-açúcar irrigada sob adubações de nitrogênio e potássio em cobertura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 236-241, 2009.

SILVA, M. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 241-249, 2014.

SILVA, S.; DANTS NETO, J.; TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; GUILHERME, B. L.; SANTOS, MARCOS A. L. Demanda hídrica da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 9, p. 849-856, 2015.

TEODORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, E. L.; DELAZARI, F. T. Produtividade de colmos e rendimento de açúcares da cana-de-açúcar em função de lâminas de água. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 234-244, 2012.

WIEDENFELD, R. P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 43, n. 2, p. 173-182, 2000.