



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO
VEGETAL

VALDECI CALIXTO DA SILVA FILHO

**DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-
AÇÚCAR EM RESPOSTA A DISTRIBUIÇÃO DOS ÍONS
NITRATO E POTÁSSIO EM UM ARGISSOLO NA
MICRORREGIÃO DE TERESINA – PI**

**TERESINA – PI
2016**

VALDECI CALIXTO DA SILVA FILHO

**DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM RESPOSTA A
DISTRIBUIÇÃO DOS ÍONS NITRATO E POTÁSSIO EM UM ARGISSOLO NA
MICRORREGIÃO DE TERESINA – PI**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. ADERSON SOARES DE ANDRADE JÚNIOR

TERESINA – PI
2016

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Serviço de Processamento Técnico

S586d Silva Filho, Valdeci Calixto da
Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar em res-
posta a distribuição dos íons nitrato e potássio em um argissolo
na microrregião de Teresina-PI / Valdeci Calixto da Silva Filho
- 2016.

88 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Universidade Fede-
ral do Piauí, Teresina, 2016

Orientação: Dr. Anderson Soares de Andrade Júnior

1. Concentração do íons 2. Fórmulas 3. *Saccharum officina-
rum* I. Título

CDD 631.83

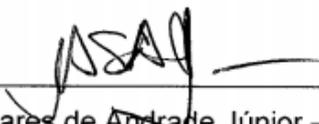
VALDECI CALIXTO DA SILVA FILHO

**DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM RESPOSTA A
DISTRIBUIÇÃO DOS ÍONS NITRATO E POTÁSSIO EM UM ARGISSOLO NA
MICRORREGIÃO DE TERESINA – PI**

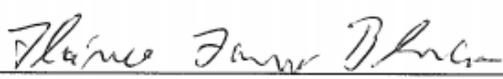
Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 24 / 06 / 2016

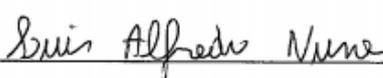
Comissão Julgadora:



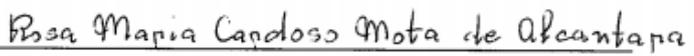
Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior – Presidente
Embrapa Meio-Norte



Dr. Flávio Favaro Blanco – Titular
Embrapa Meio-Norte



Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes – Titular
CCA/UFPI



Dra. Rosa Maria Cardoso Mota de Alcântara – Titular
Embrapa Meio-Norte

TERESINA – PI
2016

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado a vida e nela estar presente todos os segundos;

Aos meus pais que não mediram esforços e lutaram de forma incondicional para hoje chegar onde cheguei;

Ao meu Orientador Dr. Aderson Soares Andrade Júnior, a quem sou eternamente grato por toda paciência e pela sua contribuição ímpar em minha formação acadêmica e humana

As minhas irmãs Valônia e Valéria, por todo o cuidado, amor e carinho;

Ao “maninho” Pedro Paulo por ser a pessoa presente que é em minha vida, em especial nos momentos mais difíceis;

A minha avó materna Maria Raimunda (*in memorian*) e aos meus avós paternos Raimundo Ernesto e Maria José pelo carinho e por sempre acreditarem em mim

A todos os meus amigos e amigas, na pessoa da Dona Maria Rita Lopes da Silva, pessoa a qual tenho um profundo carinho e a quem dedico este trabalho;

Aos meus companheiros e companheiras do Mestrado Vanusa, Nilza, Jonston, Benício, Samara, Bruno, Pedro, Maristela, Enayra e Janaína que são grandes guerreiros e guerreiras as quais levarei para sempre em meu coração;

Aos amigos da graduação, na pessoa do meu querido amigo Anderson Pereira Bezerra, por inclusive neste trabalho colaborar;

Aos meus Professores Doutores do PPGA Francisco Mousinho, Poliana Rocha, Aécio Bezerra, Francisco Alcântara, Regina Lúcia, Carlos, Luís Alfredo e Ademir Sérgio pelos ensinamentos e pelos bons momentos que com vocês vivenciei;

Aos Pesquisadores Doutores da Embrapa Meio-Norte Edson Bastos, Francisco Brito, Flávio Blanco, Cândido Sobrinho, Lúcio Flavo, Milton Cardoso, Paulo Henrique e Rosa Mota pelo aprimoramento técnico, mas em especial pela amizade sincera que levarei por toda a vida;

Ao Doutor Valdenir Queiroz, meu conterrâneo o qual sem ele não teria êxito neste trabalho;

Aos funcionários da Embrapa Meio-Norte José Afonso, Moreira, José Duarte, Luís Carlos, Daniela Ferranti, Mariana, Joel, Pedro Pereira, Francisco,IVALDO, Solônio, Edvaldo pelo apoio incondicional que também foi caminho para hoje aqui chegar;

Aos estagiários da Embrapa Meio-Norte Alzeneide, Vitória, Jardson, Josiane, Maciel, Fábio e Lucivan por terem sido o braço direito na condução do nosso experimento;

Ao Instituto Federal do Maranhão – Campus Codó, minha eterna casa;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

RESUMO

Em sistemas fertirrigados, os nutrientes são dispostos em baixa dosagem e alta frequência de aplicação, reduzindo, a priori, as perdas por lixiviação e volatilização. Contudo, há carência de estudos visando a definição de doses ótimas, notadamente, de nitrogênio e potássio, bem como a quantificação da distribuição dos íons nitrato e potássio em resposta a aplicação dessas doses em diferentes condições de solo e clima das regiões de cultivo com cana-de-açúcar. Em razão da crescente demanda pela produção de açúcar e de combustíveis menos poluentes e com preços mais acessíveis, surge um contexto favorável para expansão de cultivo de cana-de-açúcar. O Nordeste Brasileiro é responsável por apenas 11% da produção nacional de cana-de-açúcar, em razão da má distribuição pluviométrica, bem como ausência ou manejos inadequados. O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição dos íons NO_3^- e K^+ no perfil do solo cultivado com cana-de-açúcar em resposta a fórmulas de nitrogênio (N) e potássio (K_2O) aplicados via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, o desenvolvimento e produtividade de colmos na microrregião de Teresina-PI. Foi utilizada a variedade de cana-de-açúcar RB 92579, ciclo de cana planta. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio Norte, em Teresina, PI. Para fins de concentração iônica de NO_3^- e K^+ , avaliou-se em seis épocas distintas (109, 123, 195, 228, 270 e 326 dias após plantio - DAP) a distribuição dos íons nitrato (NO_3^-) e potássio (K^+), nas camadas de 0,0 – 0,2 m, 0,2 – 0,4 m e 0,4 – 0,6 m, em resposta a aplicação de cinco formulações contendo N e K_2O (T1: 60 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K_2O ; T2: 180 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K_2O ; T3: 120 kg ha⁻¹ de N + 60 kg ha⁻¹ de K_2O ; T4: 120 kg ha⁻¹ de N + 180 kg ha⁻¹ de K_2O e T5: 120 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K_2O), e para o desenvolvimento vegetativo e produção de colmos, avaliou-se em seis épocas distintas (98, 131, 182, 223, 276 e 333 dias após plantio) o reflexo da concentração iônica no solo de NO_3^- e K^+ as variáveis comprimento e diâmetro do colmo, matéria seca total, área foliar total e tonelada de colmo ha⁻¹. O delineamento para avaliação iônica nas camadas do solo foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas, enquanto para a avaliação de desenvolvimento vegetativo e produção de colmos foi o de bloco casualizados. As maiores concentrações do íon NO_3^- (264 mg L⁻¹) foram encontrados no tratamento 5 (120 kg ha⁻¹ de N), enquanto que as de K^+ (377 ppm) no tratamento 2 (120 kg ha⁻¹ de K_2O), ambas as concentrações na profundidade 0,0-0,2 m. O comprimento e diâmetro de colmo responderam às doses de N e K_2O . Para a matéria seca total (MST), a maior dose de N (180 kg ha⁻¹) associada à dose intermediária de K (120 kg ha⁻¹) refletiram na maior concentração registrada de K^+ (377 ppm), que resultou em maiores valores de MST (0,9 kg), enquanto não houve variação sensível quanto a área foliar total. As maiores TCH (tonelada de colmo por hectare) (186,93 t ha⁻¹) foram obtidas pelo tratamento 1 (60 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K_2O) que atingiu valores totais de 961 mg L⁻¹ de NO_3^- e 648 ppm de K^+ .

Palavras-chave: Concentração de íons, fórmulas, *Saccharum officinarum*.

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY OF SUGAR CANE IN RESPONSE TO THE DISTRIBUTION OF IONS NITRATE AND POTASSIUM IN A CLAYEY SOIL IN THE MICROREGION OF TERESINA - PI

In fertirrigated systems, nutrients are arranged in low-dose and high frequency application, reducing a priori losses by leaching and volatilization. However, there are few studies aimed at defining optimal doses, particularly of nitrogen and potassium, as well as the quantification of the distribution of nitrate and potassium ions in response to application of these doses in different soil conditions and climate of growing regions with sugar cane. Due to the growing demand for sugar and cleaner and more affordable fuel, there is a favorable environment for expansion of sugar cane cultivation. The Brazilian Northeast is responsible for only 11% of national production of sugarcane, due to poor rainfall distribution, as well as the absence or inadequate management. The study aimed to evaluate the distribution of NO_3^- ions and K^+ in the soil profile cultivated with sugar cane in response to nitrogen (N) and potassium (K_2O) applied by drip fertigation subsurface, the development and productivity of culms in the microregion of Teresina-PI. It was used the variety of sugar cane RB 92579, plant cane cycle. The experiment was conducted in the experimental area of Embrapa Meio Norte, in Teresina, PI. For purposes of ion concentration of NO_3^- and K^+ , we evaluated in six different times (109, 123, 195, 228, 270 and 326 days after planting - DAP) the distribution of nitrate ions (NO_3^-) and potassium (K^+), in layers from 0 to 0.2 m, 0.2 - 0.4 and 0.4 to 0.6 m, in response to application of five formulations containing N and K_2O ((T1: 60 kg ha^{-1} of N + 120 kg ha^{-1} of K_2O ; T2: 180 kg ha^{-1} of N + 120 kg ha^{-1} of K_2O ; T3: 120 ha^{-1} of N + 60 ha^{-1} of K_2O ; T4: 120 ha^{-1} of N + 180 ha^{-1} of K_2O and T5: 120 ha^{-1} of N + 120 kg ha^{-1} of K_2O)), and for the vegetative development and production of culms. We evaluated in six different times (98, 131, 182, 223, 276 and 333 days after planting) the reflection of the ionic concentration of NO_3^- and K^+ in the soil, the variants of length and diameter of the culm, total dry matter, total leafy area and ton of culm per ha^{-1} . The design for evaluation in ion layers was of randomized blocks with split portions, as for the evaluation of vegetative development and production of culms it was of the randomized blocks. The highest concentrations of the ion NO_3^- (264 mg L^{-1}) were found in the treatment 5 (120 kg ha^{-1} of N), while the K^+ (377 ppm) in treatment 2 (120 kg ha^{-1} of K_2O), both concentrations in the depth of 0.0-0.2 m. The length and diameter of the culm responded to doses of N and K_2O . For the total dry matter (MST), the highest N rate (180 kg ha^{-1}) associated to the intermediate dose of K (120 kg ha^{-1}) reflected in the highest recorded concentration of K^+ (377 ppm), which resulted in higher MST values (0.9 kg), whereas there was no substantial change as for the total leafy area. The biggest TCH – tons of culm per hectare (186.93 t ha^{-1}), were obtained by the treatment 1 (60 kg ha^{-1} of N + 120 kg ha^{-1} of K_2O), which reached total values of 961 mg L^{-1} of NO_3^- and 648 ppm of K^+ .

Keywords: Concentration of ions, formulas, *Saccharum officinarum*.

SUMÁRIO

	9
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Importância econômica da cana-de açúcar.....	12
2.2 Importância do nitrogênio e potássio para cana-de-açúcar.....	13
2.3 Irrigação e fertirrigação em cana-de-açúcar.....	17
2.4 Crescimento vegetativo e produtividade de colmos.....	20
3 REFERÊNCIAS.....	21
RESUMO.....	28
1 INTRODUÇÃO.....	29
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
3.1 Dados climáticos, lâmina de irrigação e umidade do solo.....	35
3.2 Aplicação das doses de N e de K ₂ O ao longo do ciclo de cultivo.....	38
3.3 Distribuição do íon nitrato no perfil do solo.....	39
3.4 Concentração do íon nitrato na folha.....	45
3.5 Distribuição do íon potássio no perfil do solo.....	47
3.6 Concentração do íon potássio na folha.....	53
4 CONCLUSÕES.....	55
5 REFERÊNCIAS.....	56
CAPÍTULO II: Desenvolvimento vegetativo e produtividade de colmos da cana-de-açúcar em resposta a concentração iônica de nitrato e potássio aplicados via fertirrigação na microrregião de Teresina – PI	
RESUMO.....	60
1 INTRODUÇÃO.....	61
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	62
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
3.1 Dados climáticos, evapotranspiração de referência e umidade do solo.....	67
3.2 Concentrações dos íons nitrato e potássio em resposta as doses de N e de K ₂ O.....	70
3.3 Comprimento e diâmetro de colmo.....	73
3.4 Matéria seca total e área foliar total.....	78
3.5 Produtividade de colmos.....	82
4 CONCLUSÕES.....	85
5 REFERÊNCIAS.....	86

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar é uma planta da família das gramíneas, espécie *Saccharum officinarum*, originária da Ásia Meridional, muito cultivada em países tropicais e subtropicais para obtenção do açúcar, do álcool e da aguardente. Do processo de industrialização da cana-de-açúcar obtêm-se produtos que geram subprodutos em grande escala, como o bagaço, palha, a ponta de cana, a vinhaça, a torta de filtro, a cinza do bagaço e a levedura (OLIVEIRA, 2010).

A partir da Revolução Industrial, o consumo energético começou a aumentar em grandes proporções, fazendo com que hoje, esse aumento constante torne-se uma preocupação quanto ao futuro do nosso planeta, uma vez que a maioria das fontes energéticas utilizadas ainda são fontes não renováveis (AQUINO, 2014).

Com o aumento dos preços do petróleo, associado ao aumento acentuado da demanda por fontes de energia limpas e renováveis, foi criado um cenário bastante favorável para o etanol como um combustível alternativo à gasolina, por ser um combustível menos poluente e produzido de matérias-primas renováveis como a cana-de-açúcar.

Atualmente, o Brasil ocupa o segundo lugar como o maior produtor mundial de etanol (FNP, 2016). Quanto à produção de açúcar, o país é responsável por mais da metade de todo o produto comercializado no mundo, devendo alcançar taxa média de aumento da produção de 3,25%, até 2018/19, e obter 47,34 milhões de toneladas do produto, o que corresponde a um acréscimo de 14,6 milhões de toneladas em relação ao período 2007/2008. Para as exportações, o volume previsto para 2019 é de 32,6 milhões de toneladas (MAPA, 2015). Entre 2000 e 2012, o Brasil cresceu 64% na produção de açúcar, enquanto que a produção mundial reduziu em 5,8%. Em agosto de 2013, as exportações atingiram US\$ 10,17 bilhões, o equivalente a 47,7% do total exportado pelo Brasil naquele mês (DATAGRO, 2015).

A má distribuição hídrica oriunda das irregulares precipitações, em especial no Nordeste do Brasil, resulta em produções insatisfatórias de cana-de-açúcar e conseqüentemente de açúcar e etanol, em razão da água ser elemento essencial para a realização dos processos fisiológicos da planta. No sentido de minimizar os prejuízos dessa situação, a adoção da irrigação, que consiste na adição artificial de

água para as plantas. Segundo Andrade Júnior et al. (2012), a eficiência do uso da água de irrigação depende, dentre outros fatores, do sistema de irrigação utilizado. Deste modo, em termos comparativos, o gotejamento subsuperficial mostra-se vantajoso pela melhor eficiência na aplicação dos fertilizantes dissolvidos na própria água de irrigação ou fertirrigação.

Há na literatura vários estudos que mostram a importância do nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar (SILVA et al. 2009), principalmente por ser parte constituinte dos ácidos nucléicos e aminoácidos, precursores das proteínas, participando direta ou indiretamente de diversos processos bioquímicos e enzimáticos (EPSTEIN; BLOOM, 2006), demonstrando a necessidade de correlacionar a adubação nitrogenada em cana-de-açúcar irrigada aos parâmetros de crescimento. Quanto ao potássio, é o nutriente exportado em maior quantidade pois além de influenciar na qualidade do caldo extraído, está envolvido com o mecanismo de abertura e fechamento do estômato. A ordem de extração de macronutrientes, tanto para a cana planta como para a cana soca, é: $K > N > Ca > Mg > P$ (FELIPE, 2008).

Dalri e Cruz (2008) afirmam que a fertirrigação com nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar proporciona efeito positivo na produção de colmos e de açúcares totais redutores, quando se aumenta a adubação com os nutrientes mencionados.

Coelho et al. (2014) observaram que o aumento da concentração do fertilizante nitrogenado da água na fertirrigação implicou em aumento da concentração do íon nitrato na solução do solo e no extrato de saturação para as duas fontes de nitrogênio aplicadas.

A produtividade de colmos da cana-de-açúcar é influenciada positivamente pelo emprego de fertilizantes e pela adoção da irrigação. Ambas as práticas de manejo em conjunto com as condições climáticas as quais o canavial estar submetido, são de elevada importância para o desenvolvimento da planta e por sua vez em sua produtividade (CORREIA et al. 2014).

Um dos desafios da fertilização dos solos é a distribuição de nutrientes visando atender as necessidades da planta, assim como evitar a ocorrência de danos ambientais, como por exemplo a contaminação do lençol freático. A questão crucial do uso de adubos químicos no solo, principalmente o uso excessivo, refere-se ao seu potencial para causar danos ao meio ambiente. Um exemplo disso, são os

nitratos (NO_3^-), sendo altamente solúveis, são facilmente lixiviados, comprometendo a qualidade da água para o consumo humano (ROSOLEM et al. 2003).

Além do processo de lixiviação promover comprometimento negativo ambiental, também representa prejuízos econômicos, visto o insumo (fonte de nutriente) ser perdido e conseqüentemente não aproveitado, o que pode levar o solo a necessitar ainda mais de reposição nutricional. Avaliando perdas por lixiviação do potássio proveniente de várias fontes do nutriente, Duarte et al. (2013) concluíram que a lixiviação do potássio foi maior quando a fonte utilizada foi o cloreto de potássio (KCl).

O ganho produtivo de canaviais tem como diretriz três elementos: a produção de colmos, a produção de álcool e de açúcar, tendo o nitrogênio e o potássio importantes papéis no crescimento vegetativo e na qualidade tecnológica, respectivamente. Porém, é necessário a obtenção não só de doses, mas também a frequência e quantidade a ser aplicada no solo, atendendo assim os princípios agronômicos, econômicos e ambientais.

Com base no exposto, este trabalho avaliou a distribuição e a concentração dos íons nitrato (NO_3^-) e potássio (K^+) no perfil do solo em função de diferentes formulações de nitrogênio (N) e de potássio (K_2O) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial, e seus reflexos no desenvolvimento e produtividade de colmos, da cana-de-açúcar, cv. RB92579, ciclo de cana planta, cultivada em um Argissolo Vermelho-amarelo distrófico, nas condições edafoclimáticas de Teresina, PI.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica da cana-de-açúcar

Com terras férteis, extensas e clima propício para a agricultura, o Brasil é um dos principais produtores de cana-de-açúcar do mundo. É responsável por grande parte da comercialização de açúcar no planeta, alcançando uma taxa de aumento na produção de 3,25% até 2018/19 (MAPA, 2014). Com o forte incremento na demanda por etanol, a área cultivada para a safra de cana 2015/16, no Brasil, deve ser de 12,2 milhões de hectares. O país produzirá cerca de 902,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para indústria, o suficiente para gerar cerca de 36 bilhões de litros de álcool (IEA, 2014).

Na safra 2014/15 a produção de açúcar chegou a 35,56 milhões de toneladas. Para a safra 2015/16 a expectativa é de aumento de 5%, chegando a 37,35 milhões de toneladas. Cerca de 71,5% do açúcar no país foi produzido na Região Sudeste, 10,5% na Região Centro-Oeste, 9,6% na Região Nordeste, 8,3% na Região Sul e 0,1% na Região Norte. A maior parte do volume de cana colhido na safra 2015 – em torno de 66% – foi destinado à produção de 28,52 bilhões de litros de etanol, com redução de 0,5% em relação aos 28,66 bilhões de litros da safra passada (CONAB, 2016).

Em 2015, o Brasil totalizou sua área plantada com cana-de-açúcar em 10.870.647 ha, enquanto a região Nordeste no referido ano cultivou 793.226 ha de cana. Dentre os estados da região, o Piauí apresentou a menor área plantada (18.290 ha), sendo que seu estado vizinho, Maranhão, obteve mais que o dobro no referido ranking (47.326 ha) (UNICA,2016).

O Nordeste brasileiro detém apenas 10,1% de toda a produção de cana-de-açúcar produzida no país, um índice consideravelmente baixo, haja vista tal região concentrar a maior quantidade de estados da federação (FREITAS et al. 2013). É válido ressaltar, que a inexpressiva participação do Nordeste quanto à produção de cana-de-açúcar, deve-se a inúmeros desafios, dentre eles, a má distribuição hídrica oriunda de precipitações irregulares ao longo do ano, bem como outros fatores decisivos para o desenvolvimento da cultura, tais como a qualidade dos solos, principalmente do ponto de vista nutricional, além de técnicas de manejo da cultura.

No sentido de minimizar tais contextos, recomenda-se a adição de água e fertilidade ao solo artificialmente com a irrigação e adubação, respectivamente.

2.2 Importância do nitrogênio e potássio para cana-de-açúcar

O nitrogênio é um dos nutrientes mais limitantes para cana-de-açúcar, tanto para o desenvolvimento da cultura como na expressão do potencial produtivo das cultivares cultivadas em solos brasileiros (AMBROSANO et al. 2013).

Os fertilizantes nitrogenados quando aplicados ao solo, na forma manual ou mecanizada, sofrem uma série de transformações químicas e microbiológicas, que podem resultar em perdas do nutriente. Nesse contexto, considerando o custo dos adubos nitrogenados, é fundamental o desenvolvimento de manejos adequados da adubação nitrogenada que visem o melhor aproveitamento do N pela cultura da cana-de-açúcar (FRANCO; TRIVELIN, 2010).

O nitrogênio natural no solo está predominantemente na forma orgânica – mais de 95% do total. As frações inorgânicas são compostas principalmente por NH_4^+ e NO_3^- , mas pequenas concentrações de NO_2^- podem ocorrer em algumas situações. A maior parte do N do solo provém do ar, por deposições atmosféricas de formas combinadas de N (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) e da fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N_2). Para se tornar disponível às plantas, esse nutriente passa pelo processo de mineralização, definido como a transformação do N orgânico para a forma inorgânica (NOVAIS et al. 2007).

No solo, o N pode ser encontrado sob a forma iônica como NH_4^+ (amônio) e NO_3^- (nitrato) sendo essas as formas absorvidas e utilizadas pelas plantas. De maneira geral, existem inúmeros fatores que exercem influência no teor de nitrogênio do solo, tais como condições climáticas especialmente temperatura e precipitação (MIRANDA et al. 2014).

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil é feito com doses relativamente pequenas de fertilizantes nitrogenados, de 60 a 120 kg ha⁻¹ de N em soqueiras (CANTARELLA; ROSSETTO, 2010). Em outros países produtores de cana-de-açúcar com produtividades comparáveis, as doses de N são geralmente superiores a 120 kg ha⁻¹ e, em alguns casos, atingem 200 kg ha⁻¹ (DONZELLI, 2007).

Em trabalho realizado sobre avaliação do estado nutricional de lavouras cultivadas de cana-de-açúcar, Reis Júnior e Monnerat (2002), verificaram que 97% das amostras apresentavam deficiência em nitrogênio, bem como apontaram o potássio como potencial nutriente limitante à produção nessa cultura com base em sua importância nos processos fisiológicos que refletem no desenvolvimento. A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para as culturas de maneira geral e para a cultura da cana-de-açúcar, é preciso atenção especial, pois os estudos sobre N apresentam resultados muito variáveis e algumas vezes até contraditórios (KORNDÖRFER et al. 2002). Daí a importância de estudos de doses de fertilizantes e formas de aplicação regionalizados.

No intuito de otimizar o uso racional de nitrogênio e potássio, a aplicação torna-se fator chave para o sucesso de tal processo. Segundo Oliveira e Villas Boas (2008), que avaliaram a uniformidade de distribuição de potássio e nitrogênio, maior tempo (35 minutos) de funcionamento do sistema de irrigação por gotejamento melhora a uniformidade de distribuição de fertilizantes em campo. Sousa et al. (2003) observaram que a uniformidade de distribuição de fertilizantes aumenta com maiores tempos (42 minutos), mantendo-se constante após longos períodos de distribuição.

O potássio tem grande importância para a manutenção da quantidade de água nas plantas, uma vez que a absorção de água pela célula e pelos tecidos é, frequentemente, consequência da absorção ativa do íon potássio (MALAVOLTA, 1996). O mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, que promove a saída de H₂O e a entrada de CO₂, depende inteiramente do fluxo do cátion potássio (K⁺) nas células estomáticas, bem como está envolvido na síntese da enzima ribulose 1,5-bifosfato carboxilase oxigenase e no crescimento meristemático. Fitohormônios que estão envolvidos no crescimento de tecidos meristemáticos são ativados pelo potássio (TAIZ e ZIEGER, 2009). Este nutriente promove não somente a translocação de fotoassimilados recém-produzidos, mas também tem um efeito benéfico na mobilização de material estocado (KOCH & MENGEL, 1977). Por ser um elemento que não forma compostos na planta, permanece livre para regular muitos processos essenciais, incluindo ativação enzimática, fotossíntese, atuando no controle do uso eficiente da água, na síntese de amido e de proteína (MALAVOLTA, 1996).

O potássio no solo é originário da decomposição dos minerais primários. Este nutriente é absorvido pelos vegetais principalmente durante o estágio de crescimento vegetativo. No caso da cana-de-açúcar, o potássio é o nutriente de maior importância e mais exigido no seu desenvolvimento, pois ele participa da síntese de açúcares e proteínas, no processo de fotossíntese para obtenção de energia, na translocação de carboidratos e proteínas e na absorção da água. A importância do potássio se acentuou após a verificação da sua correlação positiva com os teores de sacarose no vegetal. Mais do que outros vegetais, a cana-de-açúcar tem maior necessidade de metabolizar glicose em seus primeiros meses de crescimento (VIEIRA, 1983).

A disponibilidade de K^+ , assim como a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, depende da presença de minerais primários e secundários, da aplicação de fertilizantes e da CTC do solo, além da ciclagem do nutriente pelas plantas. Ou seja, a disponibilidade depende das formas de K^+ presentes e da quantidade armazenada em cada uma dessas formas (MCLEAN e WATSON, 1985; NACHTINGALL e VALL, 1991), aspectos que contribuem na movimentação e dinâmica do K^+ no perfil do solo.

Avaliando a lixiviação de potássio em diferentes profundidades, Werle; Garcia e Rosolem (2008) verificaram que a movimentação de K^+ no perfil do solo está relacionada com o teor inicial resultante da adubação potássica no solo.

A passagem do K^+ da forma trocável para a não trocável pode ser rápida, dependendo da concentração do nutriente na solução do solo, fazendo com que seja possível a ocorrência de perdas por lixiviação das formas inicialmente não disponíveis, devido à tendência natural de equilíbrio do solo (ROSOLEM et al. 2006).

As formas de K^+ no solo podem suprir as plantas de modo indireto, repor o K trocável ou ser absorvidas por algumas espécies (MEURER e ANGHINONI, 1993; VEDUIN, 1994). Dessa forma, o K^+ trocável é tido como reserva prontamente disponível às plantas ou aquela absorvida pelas plantas no período de cultivo, enquanto o K não-trocável constitui uma reserva que pode ser utilizada à medida que os teores do K^+ trocável diminuem (OLIVEIRA et al. 1971). Assim, as formas não-trocáveis dão uma ideia da fração de K^+ que poderá estar disponível às plantas e sua relação no sistema solo-planta (VASCONCELOS et al. 1982).

Como consequência da baixa fertilidade natural dos solos, da elevada demanda de potássio na agricultura, e da reduzida reserva brasileira de minérios de

K, a importação de fertilizantes potássicos tem representado grande ônus à balança comercial do país. Por esta razão, há cerca de 30 anos, tentativas de utilização de rochas como fontes locais de K^+ não obtiveram sucesso devido à baixa solubilidade natural dos minerais constituintes ou ao elevado custo dos processos industriais de obtenção de fertilizantes a partir dessas fontes (PEIXOTO, 2013). Tal fato favorece a implantação da fertirrigação, visto a mesma ter como um de seus princípios a solubilidade nutricional maior, se comparado às fontes de nutrientes utilizadas em sistema convencional de adubação.

A concentração de íons K^+ e NO_3^- no solo tem sua importância em razão da necessidade de reservas nutricionais, que por sua vez atenderão as necessidades da planta. Porém, para a consolidação dessas reservas, é necessárias estratégias que visem o equilíbrio quanto ao fluxo de nutrientes no solo, sendo preciso uma distribuição eficaz e preferencialmente proporcional ao que for aplicado. Analisando a concentração de NO_3^- no perfil do solo fertirrigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas, Coelho et al. (2014) concluíram que o aumento da concentração do fertilizante nitrogenado na fertirrigação implicou em aumento da concentração do íon nitrato na solução do solo.

Dalri e Cruz (2008), avaliando a resposta produtiva da cana-de-açúcar fertirrigada com diferentes doses de N e K_2O via gotejamento subsuperficial, verificaram que o tratamento com a aplicação da maior dose de NK via fertirrigação foi o que respondeu melhor, apresentando produtividade de colmos de $190,01 \text{ t ha}^{-1}$.

O K^+ adicionado via adubação potássica, assim como aquele disponibilizado da palha que permanece sobre o solo, pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, dependendo da quantidade de chuva, da dose de nutriente e da textura do solo, entre outros fatores (ROSOLEM et al. 2006). Rosolem e Nakagawa (2001) observaram aumento na lixiviação de K^+ no perfil de um solo de textura média quando foram aplicadas doses acima de 80 kg ha^{-1} de K_2O por ano, independentemente do modo de aplicação do fertilizante.

Moura et al. (2014), avaliando a produtividade de colmos e a qualidade tecnológica do caldo de cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio e potássio em resposta a aplicação de diferentes lâminas de irrigação, concluíram que o fornecimento adequado de água durante o ciclo contribui para a cana-de-açúcar aumentar sua produtividade de açúcar total recuperável – ATR ou teor de açúcares

totais, na lâmina de 75% da reposição da evapotranspiração de referência (ET_o) com uso da fertirrigação com N e K.

No tocante à produção de álcool e açúcar, Andrade Júnior et al. (2012), analisando níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar, obtiveram produtividade máxima de 25,3 Mg ha⁻¹ e 20,0 m³ ha⁻¹ para açúcar e álcool, respectivamente, com a aplicação da dose combinada de 90,0 kg ha⁻¹ de N + 60,0 kg ha⁻¹ de K₂O. Contudo, não avaliaram a distribuição dos íons nitrato e potássio no perfil do solo em decorrência da aplicação desses níveis de N e de K₂O.

O solo por ser o reservatório de nutrientes para as plantas, é necessário o monitoramento em seu perfil, em especial as concentrações dos íons NO₃⁻ e K⁺, principalmente nas camadas de atuação do sistema radicular da cana e assim estabelecer manejos corretos na prática da fertirrigação. Flores et al. (2012), avaliando a aplicação de diferentes doses de potássio (0;32,5; 65,0; 130,0 e 195,0 kg ha⁻¹ de K₂O) em cana-de-açúcar, constataram que a aplicação de potássio incrementou o teor do íon potássio (K⁺) no solo nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m de profundidade, atingindo, na maior dose de potássio aplicada, concentrações de K⁺ da ordem de 0,173 cmolc dm⁻³ e 0,121 cmolc dm⁻³, respectivamente. Os mesmos autores chegaram à conclusão que a aplicação de potássio não alterou o número de perfilhos e diâmetro de colmos da soqueira de cana-de-açúcar; entretanto, aumentou a altura, a qual atingiu maior valor (2,79 m) com 195,0 kg ha⁻¹ de K₂O.

Andrade Júnior et al. (2012), avaliando a resposta de níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar na microrregião de Teresina – PI, observaram que a máxima produtividade de colmos (207,4 Mg ha⁻¹) foi obtida com 114,2 kg ha⁻¹ de N e 60,1 kg ha⁻¹ de K₂O. Román et al. (2015), em estudo sobre produtividade de cana-de-açúcar com adubação nitrogenada em dois ciclos, concluíram que o nitrogênio apresentou maior efeito para produtividade de colmos, em condições de cana-planta.

2.3 Irrigação e fertirrigação em cana-de-açúcar

Quanto maior a solubilidade dos fertilizantes melhor será a absorção dos íons pela planta. O uso da fertirrigação possui a característica de melhorar a eficiência no uso dos nutrientes, devido ao fracionamento da adubação conforme a marcha de

absorção de nutrientes pelas plantas, diferentemente do sistema convencional, que aplica os fertilizantes em alta quantidade, em no máximo três aplicações, favorecendo o processo de lixiviação e perdas dos nutrientes (ROBERTS, 2008).

Com a preocupação mundial em adequar práticas agrícolas ao desenvolvimento sustentável, se enquadra a prática da fertirrigação, que é a aplicação de fertilizantes através da água de irrigação, que tem como principais vantagens a maior eficiência e uniformidade na aplicação de fertilizantes via água de irrigação, a possibilidade de redução da dosagem de nutrientes para um mesmo potencial produtivo, a redução da compactação do solo e dos danos mecânicos à cultura pelo fato de evitar o tráfego de máquinas e implementos, a adequação da época de aplicação às necessidades da cultura, a eficiente incorporação do fertilizante pelo controle da lâmina de água e a redução da lixiviação, principalmente na irrigação por gotejamento (SILVA et al. 2015)

Dentre os sistemas de irrigação utilizados no cultivo de cana-de-açúcar, o pivô central assume importante papel visto suas inúmeras vantagens como a elevada eficiência na aplicação, baixo consumo de energia por unidade de área, exige menos mão-de-obra e possibilita a automação, permitindo flexibilidade no gerenciamento irrigação em grandes áreas. Nesse sistema os manejos mais comuns no cultivo da cana-de-açúcar são: irrigação de salvamento, irrigação suplementar com déficit e irrigação plena (PEREIRA et al. 2015). Outro sistema de irrigação que vem ganhando espaço predominantemente no Nordeste brasileiro é o sistema de gotejamento subsuperficial, utilizando o espaçamento em fileiras duplas de plantio, que possibilita economia de materiais necessários para a implantação do sistema, uma vez que um único tubo gotejador fornece água para duas linhas de plantas (FERREIRA JUNIOR et al. 2014).

Um dos sistemas mais apropriados e em notável expansão é o sistema de irrigação por gotejamento, o qual apresenta vantagens como: a economia de água e energia, possibilidade de automação e fertirrigação (SILVA et al. 2014).

Com o elevado custo dos fertilizantes é preciso maximizar seus benefícios na aplicação. A irrigação localizada pode apresentar-se como alternativa, onde a água e os fertilizantes são colocados simultaneamente através do sistema de gotejamento. Na aplicação convencional, o nutriente é aplicado geralmente em uma única dose, aumentando o risco de perdas, especialmente, por lixiviação. O emprego da irrigação localizada por gotejamento permite que a planta receba o

nutriente em várias doses, permitindo seu melhor aproveitamento. A irrigação localizada por gotejamento assegura que os nutrientes sejam supridos com precisão na área de atividade mais intensiva da raiz, de acordo com os requerimentos específicos da cultura e tipo de solo resultando em produções maiores de cana-de-açúcar (ESPERANCINE, 2015).

O conhecimento do efeito das doses de nutrientes que maximizam a produtividade econômica da cultura, principalmente o nitrogênio e o potássio, baseia-se na adubação convencional via solo. A fertirrigação, embora seja uma técnica com elevado potencial para aumento da eficiência e redução dos custos da adubação, tem sido pouco praticada, possivelmente em razão do elevado custo, assim como a necessidade de acompanhamento técnico. Assim, estudos de doses e do fracionamento da aplicação necessitam ser executados nas regiões produtoras de cana (ANDRADE JÚNIOR et al. 2012).

Em sistemas fertirrigados os nutrientes são dispostos em baixa dosagem e alta frequência de aplicação, reduzindo as perdas por lixiviação e volatilização (DOBERMANN, 2007; ROBERTS, 2008). Um dos problemas da adição de fertilizantes, como o nitrogênio e potássio, por exemplo, é o impacto ambiental, principalmente os fatores ligados ao solo, fato esse que pode ser reduzido com a implantação do referido sistema, pois o mesmo permite diminuição de lixiviação dos elementos químicos (MARQUES et al. 2006).

O processo de lixiviação envolve complexa interação entre a hidrologia do solo, absorção de água e nutrientes pelas plantas e práticas de manejo (VAN ES; SOGBEDJI; SCHINDELBECK, 2006). Íons de NO_3^- por não serem retidos na fase sólida do solo, geralmente ficam dissolvidos em sua solução, e podem ser lixiviados em maior ou menor grau, em função da percolação da água ao longo do perfil do solo, reduzindo sua disponibilidade para as plantas, com riscos de contaminação das águas de superfície e subsuperfície (JADOSKI et al. 2010).

A lixiviação de NO_3^- é influenciada pela textura, quantidade de adubo aplicado, tipo de adubação, exigência e absorção de N pelas plantas, quantidade e frequência de precipitação pluvial, manejo da irrigação, condições de drenagem e dinâmica das transformações do N como mineralização, imobilização e desnitrificação (CAMPBELL et al. 1993). As perdas de NO_3^- no perfil do solo devem, então, ser monitoradas, especialmente em sistemas de produção intensivos, com

elevado uso de fertilizantes nitrogenados, para que sejam tomadas medidas que promovam aumento da eficiência do uso do N aplicados, com a finalidade de possibilitar o gerenciamento de um sistema de produção economicamente sustentável, com produtos de qualidade e com mínimo impacto ambiental negativo (MENDES et al. 2015).

Vale (2009), afirma que distribuições inadequadas de nitrogênio podem resultar em lixiviações significativas, podendo atingir valores da ordem de 50% do nitrogênio aplicado, e em condições de altas temperaturas este valor pode ser ainda maior, da ordem de 70%.

2.4 Crescimento vegetativo e produtividade de colmos

É comum tanto para acadêmicos quanto para produtores de cana a preocupação apenas com a adição de fertilizantes, muitas vezes esquecendo a forma e a quantidade a ser disponibilizada para a cultura, o que pode resultar em más distribuições. Somado a isso, é existente a ideia que maiores doses necessariamente responderão em maiores produtividades, mais precisamente em maiores produções de colmos, porém, há trabalhos que contradizem essa situação.

Um exemplo científico nesse sentido foi o trabalho conduzido por Rhein (2012) avaliando a produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses (0, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento, concluindo que a dose de 100 kg ha⁻¹ proporcionou os melhores resultados para os atributos biométricos, assim como as doses de nitrogênio (150 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação por gotejamento subsuperficial aumentaram consideravelmente a produtividade de colmos por hectare (TCH), revelando a importância tanto da quantidade, como o sistema pelo qual é distribuído o nutriente no intuito de obter distribuições satisfatórias.

O crescimento da parte aérea da cana-de-açúcar ocorre de forma sigmoideal e pode ser dividida em três etapas: fase inicial, em que o crescimento é lento; fase de crescimento rápido, que ocorre pelo surgimento e alongamento de entrenós, onde se acumula 75% da fitomassa total; fase final, de crescimento lento. Portanto, a determinação do cumprimento das fases em cada variedade é importante para

ajustá-las aos períodos de maior exigência hídrica, com condições de suprimento nutricional adequado.

A identificação da capacidade produtiva de diferentes variedades e a investigação dos efeitos do manejo da cultura é geralmente realizada através da análise de crescimento pela avaliação de alguns parâmetros morfológicos das plantas (altura, número de plantas por metro, área foliar e produção) (INMAN-BAMBER et al. 2005; OLIVEIRA et al. 2008).

Na cultura da cana-de-açúcar, a análise de crescimento não só permite aprimorar algumas práticas de manejo, inclusive a adubação (GAVA et al. 2001), como tem sido utilizada como instrumento significativo para avaliar o desempenho de variedades. A avaliação de variáveis morfológicas das plantas possibilita a identificação da capacidade produtiva de diferentes variedades e a investigação dos efeitos do manejo da cultura (OLIVEIRA et al. 2005; OLIVEIRA, 2010).

O aumento no número de colmos com a aplicação de N é justificado pelo importante efeito do nitrogênio na taxa de perfilhamento das culturas. Malavolta (2006) relata que a aplicação de nitrogênio melhora o perfilhamento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar (folha mais longa larga de coloração verde intensa e menos áspera).

3 REFERÊNCIAS

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E. A.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L. F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 8, n. 3, p. 80-90, 2013.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 76-84, 2012.

AQUINO, A. F. et al. O etanol da cana de açúcar: possibilidades energéticas da região de Ceará-Mirim. **Holos**, v. 1, p. 105-125, 2014.

ARAÚJO, E. S.; SANTOS, J. A. P. O desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar no Brasil e sua relevância na economia nacional. **FACIDER-Revista Científica**, v. 4, n. 4, 2013.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). ACOMPANHAMENTO DE SAFRA BRASILEIRA: Cana-de-açúcar. Safra 2012/2013. **Primeiro levantamento**. Brasília: CONAB, abr./2012.

_____. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Safra de cana-de-açúcar 2014/2015 deve crescer 3,2%**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/08/safra-2015-2016-de-cana-de-acucar-deve-crescer-3-2>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

_____. FEDERAÇÃO NACIONAL DE PETRÓLEO (FNP). **Brasil: 2º maior produtor de etanol**. Disponível em: <<http://informaecon-fnp.com/noticia/3885>>. Acesso em: 03 jan. 2016.

_____. INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). **Análise de indicadores do agronegócio**. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:86serzjO85AJ:https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/cana_000fk6pwqr402wyiv80sq98yqr00hvcn.doc+&cd=5&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em 12 out. 2014.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Culturas. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em 03 dez. 2015

CORREIA, C. B. G. et al. Cana-de-açúcar: parâmetros tecnológicos em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 1, p. 26-37, 2014.

CAMPBELL, C. A.; ZENTNER, R. P.; SELLES, F.; AKINREMI, O. O. Nitrate leaching as influenced by fertilization in the Brown soil zone. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 73, n. 4, p. 387-397, 1993.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. Fertilizantes para cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010.

COELHO, Eugênio F. et al. Concentração de nitrato no perfil do solo fertirrigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 263-269, 2014.

MENDES, Walter Costa, et al. Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 47, 2015.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.; GARCIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. **Irriga**, v. 13, p. 1-11, 2008.

_____; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.

DATAGRO. **Área colhida com cana-de-açúcar no Brasil safras 2000/01 a 2014/15**. Disponível em: <

<http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/producao-recorde-acucar-brasil-gera-queda-nos-precos-internacionais-26912>>. Acesso em: 14 dez. 2015.

DOBERMANN, A. Nutrient use efficiency – measurement and management. In.: International Fertilizer Industry Association. **Fertilizer best management practices**. IFA: Paris, 2007. p. 1-28.

DONZELLI, J. L. Uso de fertilizantes na cana-de-açúcar no Brasil. In: MACEDO, I. C. (Org.). **A energia da cana-de-açúcar**. 2. ed. São Paulo: Única, 2007. 246 p.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 195-200, 2013.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2006. 400p.

ESPERANCINI, M.S.T. et al. Dose ótima econômica de nitrogênio em cana-de-açúcar aplicada via fertirrigação por gotejamento. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 28, 2015.

FELIPE, D.C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes épocas de plantio e a adubação mineral**. 2008. 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2008.

FERREIRA JUNIOR, R. A. et al. Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 18, n. 8, p. 798-804, 2014.

FLORES, Rilner Alves et al. Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 106-111, 2012.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar: reflexos do plantio à colheita. In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. A.; ROSSETTO, R.; SORATTO, R. P. **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de N em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GOUVEIA NETO, C. G. Rendimento agroindustrial da cana-de-açúcar sob suplementação hídrica e parcelamento de nitrogênio. **Tese (Doutorado)**. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande, PB. 145p. 2012.

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

ISEJIMA, E.M.; COSTA, J.A.B.; SOUZA JUNIOR, D.I. Método de determinação de açúcares redutores aplicável no sistema de pagamento de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 729-734, 2002.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. A. Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar após aplicação de reguladores vegetais em meio de safra. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 129-138, 2011.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C.; LOPES, E. C.; SALES, L. L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, n. 1, p. 193-200, 2010.

KOCH, K.; MENGEL, K. Effect of K on N utilization by spring wheat during grain formation. **Agronomy Journal**. v. 69, p. 477-480, 1977.

KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C. CHIMELLO, M.A.; LEONE, P.L.C. Desempenho de variedades de Cana-de-Açúcar cultivadas com e sem Nitrogênio. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 20, p. 28-31, 2002.

MARQUES, P.A.A.; MARQUES, T.A.; FRIZZONE, J.A. Viabilidade econômica sob condições de risco para a irrigação da cana-de-açúcar na região de Piracicaba- SP. **Irriga**, v. 11, p. 55-65, 2006.

MACEDO, I.C. Situação atual e perspectivas do etanol. **Revista Estudos Avançados, Campinas**, ano 11, v. 21, n. 59, jan./abr. 2007.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. **Ceres**, 2006. 638 p.

_____. Potássio é uma realidade. O potássio é essencial para todas as plantas. Potafos. Piracicaba, 1996. **Arquivo do Agrônomo**, n.10.

MELO, F. de B.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; PESSOA, B. L. de O. Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI. **Embrapa Meio-Norte**. Teresina – PI, 2014.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 375-382, 1993

MCLEAN, E.D.; WATSON, M.E. Soil measurement of plant available potassium. In: MUNSON, R. D., ed. **Potassium in agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1985. p. 277-308.

MIRANDA, L. da S. et al. Dinâmica do nitrogênio no solo sob sistema convencional e plantio direto na Amazônia. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 31.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 15.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 13.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 10., 2014, Araxá. Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologias para todos: anais. Araxá: Núcleo Regional Leste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014.

MOURA, L.C. et al. Índice de maturação da cana-de-açúcar fertirrigada sobre diferentes lâminas-DOI: 10.7127/rbai. v. 8, n. 100199. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 1, p. 64-76, 2014.

NACHTIGALL, G.R. & VAHL, L.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15:37-42, 1991.

NOVA CANA. **Cana-de-Açúcar - Tudo sobre esta versátil planta**. Disponível em: <<http://www.novacana.com/cana-de-acucar/>>. Acesso em: 01 fev. 2016.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N.F.; et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 376-443, 2007.

OLIVEIRA, Fernando Moreira Vasconcelos. **Avaliação de diferentes pré-tratamentos e deslignificação alcalina na sacarificação da celulose de palha de cana**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, E. C. A. de; OLIVEIRA, A. C. de; OLIVEIRA, R. I. de; COSTA, S. A. da; SIMÕES NETO, D. E.; FREIRE, F. J. Rendimento de colmo e atributos tecnológicos de cultivares de cana-de-açúcar, plantadas no Nordeste, sob dois sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, p. 756-761, 2008.

OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BOAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e nitrogênio em sistemas de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**. Botucatu, v. 28, n. 1, p. 95-103, 2008.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATORIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: Taxas de crescimento. **Scientia Agrária**, v. 6, n. 1-2, p. 85-89, 2005.

OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A.E. & BEATTY, M.T. Potassium removed from some Southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extractions methods. **Soil Science. Society American Journal**, v. 35, p. 763-767, 1971.

PEIXOTO, A. P. B. Análise da dinâmica do potássio e nitrato em colunas de solo não saturado por meio de modelos não lineares e multiresposta. 2013. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ).

PEREIRA, Rodrigo Moura et al. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 149, 2015.

JÚNIOR, R.A. R.; Monnerat, P.H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em campos dos Goyatacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 367-372, 2002

RHEIN, A. F. L. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento. **Tese de Doutorado**. Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP. Botucatu–SP. 2012.

ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v.32, p.177-182, 2008.

ROMÁN, R. M. S. et al. Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes posições hídricas e nitrogênio em dois ciclos. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 198, 2015.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J.S.S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1033-1040, 2006.

SILVA, C. T. S. da et al. Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 3, n. 1, p. 3-12, 2009.

SILVA, A. B.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. 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, Lilian Nobrega da et al. Efeitos da fertirrigação em cultivares de cafeeiro no Cerrado Mineiro. **IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. Curitiba – PR. 2015.

SILVA, Patrícia Ferreira, et al. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento em pimentão. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 17-22, 2013.

SOUZA, Z.M., PAIXÃO, A.C.S., PRADO, R.M. et al. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1062- 1068,2005.

SOUZA, V. F.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A.; ALENCAR, C. M. Distribuição de fertilizantes em um sistema de fertirrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 186-189, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

VALE, D. W.; PRADO, R. M.; PANCELLI, M. A. Análise econômica da adubação nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 28, n. 2, nov./dez., 2009.

VALE, D. W. do. Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar. **Dissertação de Mestrado**. Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP. Jaboticaba–SP. 2009.

VAN ES, H.M.; SOGBEDJI, J.M.; SCHINDELBECK, R.R. Effect of manure application timing, crop, and soil type on nitrate leaching. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 35, n. 2, p. 670-679, 2006.

VASCONSELOS, C.A.; SANTOS, H.L. & FRANÇA, G.E. O potássio na cultura do milho. In: **SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, Londrina, 1982. Anais. Piracicaba, Ibrafos, 1982. p.437-448.

VIEIRA, I.M.S. **Efeito do potássio sobre a atividade de invertases, teores de açúcares e compostos nitrogenados em cana-de-açúcar (Saccharum spp. var. NA56-79) cultivada em solução nutritiva**. 1983. 97f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP.

UNIÃO da Indústria de cana-de-açúcar (UNICA). **Área Plantada com cana-de-açúcar, 2014 – 2015**. Disponível em: < <http://www.unicadata.com.br/historico-de-area-ibge.php?idMn=33&tipoHistorico=5&acao=visualizar&idTabela=1613&produto=%C3%81rea+Plantada&anoIni=2014&anoFim=2015&estado=RS%2CSC%2CPR%2CSP%2CRJ%2CMG%2CES%2CMS%2CMT%2CGO%2CDF%2CBA%2CSE%2CAL%2CPE%2CPB%2CRN%2CCE%2CPI%2CMA%2CTO%2CPA%2CAP%2CRO%2CAM%2CAC%2CRR>>. Acesso em: 28 jan. 2016.

CAPÍTULO I: Distribuição dos íons nitrato e potássio em um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar na microrregião de Teresina – PI

RESUMO

Em sistemas fertirrigados, os nutrientes são dispostos em baixa dosagem e alta frequência de aplicação, reduzindo, a priori, as perdas por lixiviação e volatilização. Contudo, há carência de estudos visando a definição de doses ótimas, notadamente, de nitrogênio e potássio, bem como a quantificação da distribuição dos íons nitrato e potássio em resposta a aplicação dessas doses em diferentes condições de solo e clima das regiões de cultivo com cana-de-açúcar. O trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição dos íons NO_3^- e K^+ no perfil do solo cultivado com cana-de-açúcar em resposta a doses de nitrogênio (N) e potássio (K_2O) aplicados via fertirrigação por gotejamento subsuperficial na microrregião de Teresina-PI. Foi utilizada a variedade de cana-de-açúcar RB 92579, ciclo de cana planta. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio Norte, em Teresina – PI. Avaliou-se a distribuição dos íons nitrato (NO_3^-) e potássio (K^+), nas camadas de 0,0 – 0,2 m, 0,2 – 0,4 m e 0,4 – 0,6 m, em resposta a aplicação de cinco formulações contendo N e K_2O (T1: 60 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K_2O ; T2: 180 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K_2O ; T3: 120 ha⁻¹ de N + 60 ha⁻¹ de K_2O ; T4: 120 ha⁻¹ de N + 180 ha⁻¹ de K_2O e T5: 120 ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K_2O), aplicados via fertirrigação por gotejamento subsuperficial. As concentrações dos íons NO_3^- (mg L⁻¹) e K^+ (ppm) foram determinadas em seis épocas distintas (109, 123, 195, 228, 270 e 326 dias após plantio - DAP), pelos métodos de Kjeldahl (NO_3^-) e espectrofotometria (K^+), a partir de extratos de solução do solo obtidos por meio de pasta saturada. Usou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Para a avaliação da distribuição dos íons NO_3^- e K^+ , os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, com as formulações de N e K_2O , nas parcelas, e as profundidades de quantificação das concentrações de NO_3^- e K^+ , nas subparcelas. As concentrações dos íons NO_3^- e K^+ no perfil do solo foram variáveis em função das épocas, profundidade e doses. A distribuição da concentração do íon NO_3^- no cultivo de cana-de-açúcar, ciclo de cana planta, ocorre de forma mais intensa no início do ciclo, enquanto que a do íon K^+ ao final do ciclo vegetativo. As concentrações dos íons NO_3^- e K^+ na solução do solo são condicionadas às épocas de avaliação, profundidades e doses de N e K_2O via fertirrigação. As maiores concentrações do íon NO_3^- e K^+ apresentaram-se na profundidade 0,0-0,2 m. Não houve lixiviação dos íons NO_3^- e K^+ para a camada mais profunda do solo (>0,4 m), enfatizando a eficiência de aplicação dos fertilizantes via fertirrigação no cultivo da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Nutriente, profundidade, concentração iônica.

1 INTRODUÇÃO

É comum no cultivo de cana-de-açúcar a adubação tradicional (via solo), em razão de requerer menores investimentos. No entanto, a referida prática é caracterizada pela aplicação de altas doses e em pequenas frequências, acarretando risco de lixiviação de íons para áreas onde não há a presença do sistema radicular das plantas. Como consequência não há o aproveitamento total dos nutrientes pelas plantas, resultando em prejuízos agronômicos, ambientais e econômicos, oriundos da má distribuição dos íons, em especial o nitrogênio e potássio, os quais são requeridos para a obtenção de elevadas produtividades de colmos.

Existe a possibilidade que parte do NO_3^- lixiviado da camada abaixo de 0,0-0,2 m seja parcialmente aproveitado pela cana-de-açúcar, já que parte importante do sistema radicular da cultura pode atingir camadas mais profundas do solo. Ball-Coelho et al. (1992) observaram que 63% do sistema radicular da cana-de-açúcar concentra-se na camada de 0,0 a 0,5 m de profundidade. Nesse contexto, surge a necessidade de estudos no tocante à distribuição dos íons nitrato (NO_3^-) e potássio (K^+) oriundos da aplicação dos fertilizantes nitrogenados e potássicos em diferentes camadas do perfil do solo.

O uso de fontes nitrogenadas em fertirrigação acelera a dinâmica do nitrogênio no solo resultando no aumento da concentração de NO_3^- na solução do solo que, por ser de alta mobilidade, pode ser lixiviado para as camadas mais profundas do perfil do solo. A presença do NO_3^- na solução do solo depende dos atributos químicos do solo, biológicos, da fonte de nitrogênio, da massa aplicada e da concentração do fertilizante nitrogenado na água de irrigação. Segundo Andrade et al. (2009), a lixiviação do nitrato é potencializada pelas propriedades físicas dos solos, pelas práticas agrícolas intensivas e pela elevada dotação de água empregada na irrigação.

A lixiviação do íon K^+ por exemplo, é comum na ocorrência de precipitações, em razão de tal perda ser resultado do aumento da solubilidade no referido período, o que pode inclusive refletir em produções insatisfatórias. Andrade Júnior et al. (2010), avaliando o crescimento da cana-de-açúcar (1ª soca) sob diferentes níveis de fertirrigação potássica, obtiveram com as doses de K_2O de 111 e 133 kg ha^{-1} as maiores produtividades de colmos, mesmo tendo sido aplicados doses bem

superiores. Embora não tenham quantificado a distribuição dos íons K^+ decorrentes dos níveis de K_2O , atribuíram esse fato as elevadas precipitações no período de aplicação das maiores porcentagens de potássio, promovendo a lixiviação desse nutriente para as camadas mais profundas do perfil do solo.

Face ao exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição dos íons nitrato (NO_3^-) e potássio (K^+), nas camadas de 0,0 – 0,2 m, 0,2 – 0,4 m e 0,4 – 0,6 m, em resposta a aplicação de cinco formulações de N e K_2O aplicados via fertirrigação por gotejamento subsuperficial em um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar na microrregião de Teresina – PI.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio Norte, localizada no município de Teresina, PI, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude: 5° 5' 21" Sul, longitude de 42° 48' 6" Oeste e altitude de 70 m. A temperatura média do ar e precipitação média anual de 27,6 °C e 1.349 mm, respectivamente (BASTOS e ANDRADE JÚNIOR, 2013). O clima de Teresina, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) é C1sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão e uma concentração de 32,2% da evapotranspiração potencial no trimestre setembro – outubro – novembro (ANDRADE JÚNIOR et al. 2005).

Foi utilizada a variedade de cana-de-açúcar RB 92579, ciclo de cana planta, recomendada para cultivo sob regime irrigado e com área de cultivo expressiva na microrregião de Teresina. O plantio ocorreu no dia 06/06/2014, em espaçamento de fileira duplas (0,5 m entre fileiras de plantas e 2,0 m entre fileiras duplas) (Figura 1), mantendo-se 15 gemas por metro linear. O preparo do solo constou de uma aração e uma gradagem.

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, com dois metros entre linhas gotejadoras (gotejadores a cada 0,6 m, vazão de 2,3 L/h a uma pressão de 200 kPa), enterradas a 0,25 m de profundidade, no centro das fileiras duplas de plantas (Figura 1).

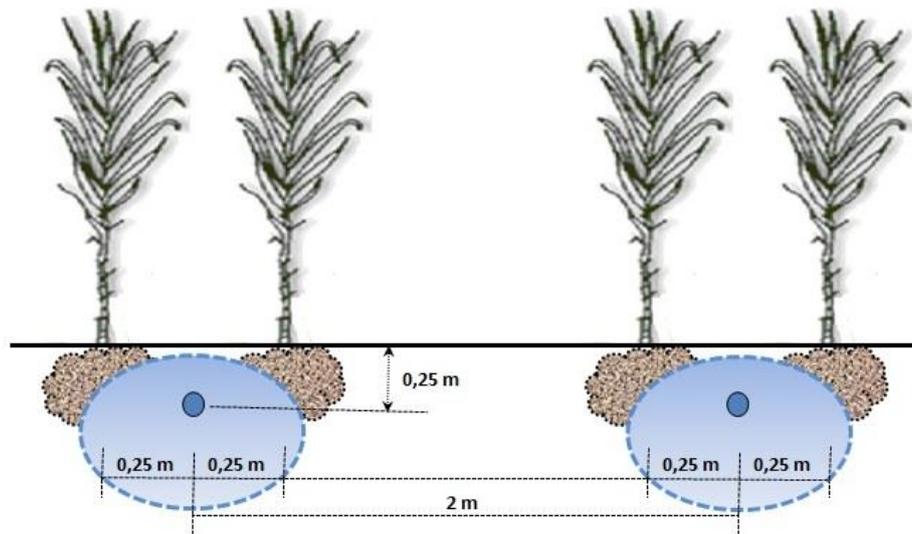


Figura 1 Detalhe do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial

O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd) textura média (Melo et al. 2014), cuja caracterização química e físico-hídrica é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização química e físico-hídrica do solo da área experimental. Embrapa Meio-Norte, Teresina – PI

Parâmetro	Profundidade (m)		
	0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6
pH em água	5,76	5,22	5,28
Fósforo (mg/dm ³)	16,21	13,56	12,77
Potássio (cmolc/dm ³)	0,23	0,07	0,12
Sódio (cmolc/dm ³)	0,02	0,02	0,04
Cálcio (cmolc/dm ³)	1,21	0,38	0,42
Magnésio (cmolc/dm ³)	0,69	0,11	0,10
Alumínio (cmolc/dm ³)	0,07	0,95	1,27
H+Al (cmolc/dm ³)	3,30	3,85	4,73
Nitrogênio (dag/kg)	0,06	0,03	0,03
Mat. Orgânica (dag/kg)	1,39	0,77	0,65
CTC	5,43	4,40	5,37
Areia (g/kg)	609,60	626,00	573,30
Silte (g/kg)	278,90	225,30	245,70
Argila (g/kg)	111,50	148,70	181,00
Classificação textural	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa
CC (m ³ /m ³)	0,245	0,245	0,268
PMP (m ³ /m ³)	0,055	0,082	0,125
Dens. do solo (Mg/m ³)	1,434	1,603	1,577

CC: capacidade de campo (6 kPa); PMP: ponto de murcha permanente (1.500 kPa)

Foram aplicados cinco tratamentos, compostos por diferentes fórmulas de N (ureia) e de K₂O (cloreto de potássio) (T1: 60 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K₂O; T2: 180 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K₂O; T3: 120 kg ha⁻¹ de N + 60 kg ha⁻¹ de K₂O; T4: 120 kg ha⁻¹ de N + 180 kg ha⁻¹ de K₂O e T5: 120 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K₂O), os quais foram aplicados via água de irrigação (fertirrigação). Usou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Para a avaliação da distribuição dos íons NO₃⁻ e K⁺, os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, com as formulações contendo N e K₂O, nas parcelas, e as profundidades de avaliação das concentrações dos íons, nas subparcelas. As análises foram realizadas pelo software SAS (SAS INSTITUTE, 2014).

A fertirrigação foi iniciada em 04/08/2014 (60 dias após o plantio) e teve duração de seis meses (agosto de 2014 a janeiro de 2015), em uma frequência de três vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira). A aplicação dos tratamentos ao longo do ciclo de cultivo foi parcelada seguindo a distribuição percentual apresentada na Figura 2. A aplicação do fósforo (100 kg/ha de P₂O₅), na forma de fosfato monoamônico (MAP) e micronutrientes (ácido bórico = 4,5 kg/ha; óxido de zinco = 7 kg/ha; óxido de cobre = 6 kg/ha; óxido de manganês = 11 kg/ha e molibdato de sódio = 1 kg/ha) foi uniforme em todos os tratamentos e dividida em aplicações mensais.

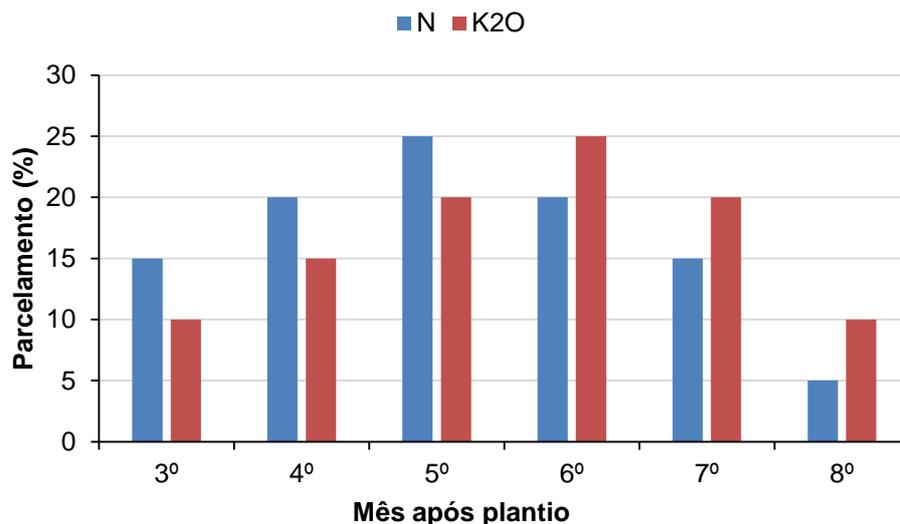


Figura 2 Parcelamento (%) das doses de nitrogênio (N) e potássio (K₂O) ao longo do ciclo da cultura

A aplicação das fórmulas de N e K₂O foi efetuada por meio de fertirrigação, com uso de injetor hidráulico de deslocamento positivo (bomba TMB). O controle de

abertura e fechamento das parcelas no campo, para administração das lâminas de irrigação e para os níveis de N e K₂O, foi efetuado por registros hidráulicos instalados em cavaletes nas entradas de cada uma das parcelas. A lâmina de irrigação aplicada foi monitorada por um hidrômetro localizado na casa de bomba.

As parcelas mediam 60 m² de área e eram compostas por três fileiras duplas de 10 m de comprimento, com 0,5 m entre fileiras de plantas e 2,0 m entre fileiras duplas. A área útil da parcela foi formada por duas fileiras de plantas, de onde foram retiradas as amostras de solo para quantificação da concentração dos íons NO₃⁻ e K⁺ no solo, nas profundidades 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m. A bordadura entre parcelas foi simples (uma fileira dupla de plantas), de onde foram coletadas as plantas para as análises biométricas bimestrais.

A lâmina de irrigação foi uniforme para todos os tratamentos e aplicada com base na evapotranspiração da cultura (ET_c). Para tanto, usou-se a evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelo método de Penman – Monteith, em escala de tempo diária, utilizando dados climáticos de estação meteorológica do INMET instalada na Embrapa Meio-Norte, e coeficientes de cultivo de cana-de-açúcar determinados na região (Nolêto, 2015). A frequência de aplicação da irrigação foi às segundas, quartas e sextas-feiras, da seguinte forma: na segunda-feira, aplicou-se a ET_c acumulada de sexta, sábado e domingo; na quarta-feira, aplicou-se a ET_c acumulada de segunda e terça-feira e na sexta-feira, aplicou-se a ET_c acumulada de quarta e quinta-feira. Para mensuração da precipitação instalou-se um pluviômetro na área experimental, cujas leituras eram sempre aferidas de segunda à sexta-feira às 7:30 horas.

No monitoramento da umidade do solo, foi utilizado a sonda de capacitância Diviner, sendo as leituras de frequência relativa (FR) foram aferidas após a aplicação da lâmina. O conteúdo de água no solo nas profundidades 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m foi calculado pela médias dos valores de umidade durante o ciclo da cana. Quanto aos valores de frequência relativa, os mesmos foram convertidos em água no solo (m³) por meio da seguinte equação:

$$\Theta_v = aFR^b$$

Em que:

Θ_v = Umidade volumétrica (m³ m⁻³);

FR = Frequência relativa determinada pela sonda (adimensional);

a, b = Coeficientes gerados pela regressão para cada camada de solo (Silva et al. 2006).

Para a determinação da concentração dos íons NO_3^- e K^+ presentes na solução do solo em decorrência das doses de N e de K_2O aplicadas nos tratamentos, foram realizadas coletas de amostras de solo ($\pm 0,5$ kg). As profundidades das coletas foram de 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, com a utilização de um trado tipo holandês, inserido à 0,2 m de distância do tubo gotejador, buscando-se amostrar solo tanto na região de atuação do sistema radicular da cana, bem como nas proximidades da região de aplicação dos fertilizantes. As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos.

Logo após a coleta das amostras de solo, as mesmas foram encaminhadas para a sala de recepção de amostras de solo do Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte, onde foram destorroadas com o auxílio de um rolo e passadas por uma peneira metálica de 2 mm, visando diminuir ao máximo o tamanho das partículas do solo.

Uma vez destorroadas, as amostras de solo passaram para a fase de preparação da pasta saturada. De cada amostra, retirou-se uma sub-amostra com massa de 0,25 kg a qual foi colocada em um becker plástico de 0,5 L. Em seguida, adicionou-se lentamente 100 mL de água destilada, com o auxílio de uma pisseta plástica, sempre a homogeneizando com uma espátula de inox, até que a pasta se tornar saturada.

Após obtenção da pasta saturada, a etapa seguinte consistiu na retirada dos extratos de solução do solo da pasta saturada. Para isso, a mesma foi saturada e disposta sobre um papel de filtro colocado em um funil de büchner em porcelana, acoplado a um becker de vidro, ao qual foi imposta uma pressão de -80 kPa, com o auxílio de uma bomba de vácuo. De cada sub-amostra foi obtido 15 mL de extrato de solução, os quais foram acondicionados em frascos de vidro de 50 mL com tampa, para futura determinação da concentração dos íons nitrato e potássio. Não havendo possibilidade de analisar-se todas as amostras no mesmo dia, os frascos com os extratos foram mantidos sob refrigeração em geladeira a -1°C . Para essas determinações de nitrato e potássio, os métodos adotados foram Kjeldahl (NO_3^-) e fotometria (K^+) (Embrapa, 2010).

No intuito de estabelecer a relação de concentração dos íons na relação solo-planta, foi determinado a concentração foliar de NO_3^- e K^+ durante cinco épocas

(105, 122, 194, 227 e 272 DAP). Para essas determinações de nitrato e potássio, os métodos adotados foram Kjeldahl (NO_3^-) e espectrofotometria (K^+) (Embrapa, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dados climáticos, lâmina de irrigação e umidade do solo

Em relação à temperatura média do ar, um dos elementos climáticos decisivos no processo de evapotranspiração, a faixa ideal para a cana-de-açúcar é de 30 a 34°C. Por isso, se a temperatura do ar estiver maior que 35°C o crescimento vegetativo é lento, abaixo de 20°C é muito lento e acima de 38°C é nulo (Freitas, 2007). No caso específico do presente estudo, a temperatura média do ar oscilou de 31 °C a 26 °C (Figura 3), portanto, dentro da faixa considerada ideal para o adequado desenvolvimento vegetativo da cultura.

Na Figura 4 foram registrados os dados acumulados mensal da evapotranspiração da cultura (ETc), lâmina de irrigação aplicada (LI), precipitação (P) e o somatório da lâmina de irrigação e precipitação (LI+P) registradas durante todo o período experimental.

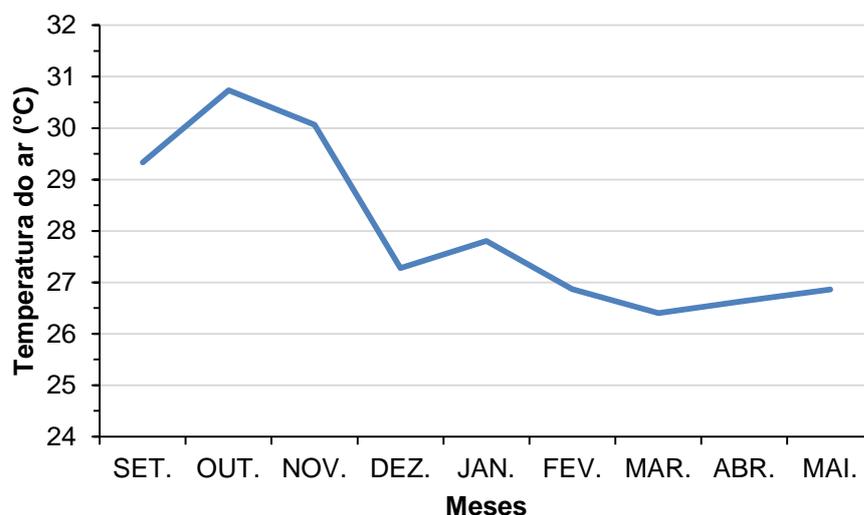


Figura 3 Registros de temperatura média ao longo do experimento

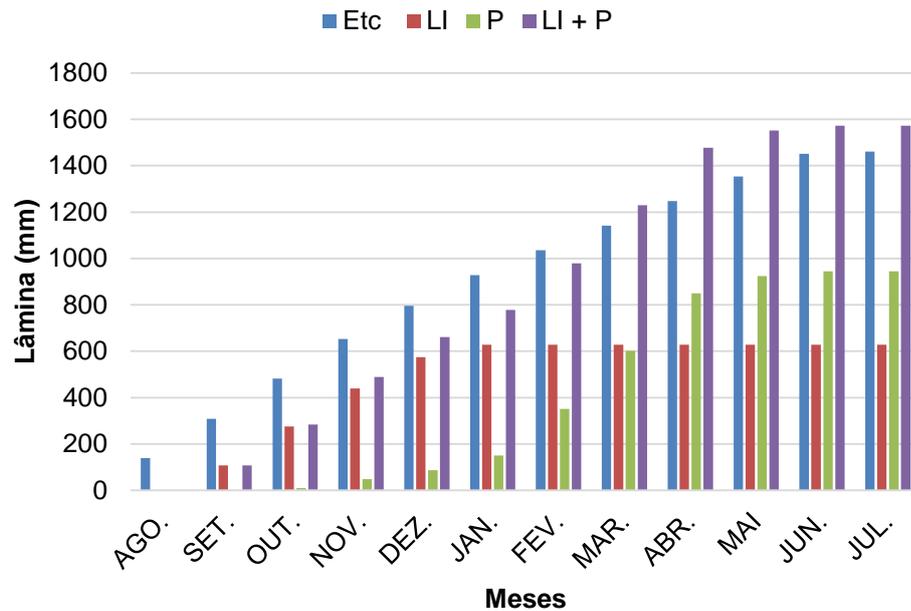


Figura 4 Registros cumulativos mensais de evapotranspiração da cultura (ETc), lâmina de irrigação aplicada (LI), precipitação (P) e somatório lâmina de irrigação + precipitação (LI + P). Teresina – PI, 2014-2015

O requerimento hídrico da cana-de-açúcar foi plenamente atendido pela aplicação das lâminas de irrigação mais a precipitação ocorrida durante o período experimental. As lâminas de irrigação totalizaram 657,0 mm, a precipitação registrada foi de 849,2 mm, o que totalizou 1.506,2 mm. A necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia de 1.500 a 2.500 mm, que devem ser distribuídos de maneira uniforme durante o período de desenvolvimento vegetativo. Estudos recentes têm mostrado que a quantidade de água necessária para a cultura atingir seu máximo potencial produtivo é em torno de 1.200 a 1.300 mm (AGEITEC, 2016a). Portanto, constata-se que durante o experimento a cultura foi plenamente atendida a sua necessidade hídrica, não se constituindo um fator limitante a expressão de seu máximo potencial produtivo.

Com relação ao conteúdo de água no solo, decorrente da aplicação das lâminas de irrigação e precipitação, houve gradativo incremento ao longo do ciclo da cultura (Figura 5), justamente em resposta aos aumentos ocorridos nas lâminas de irrigação e precipitação (Figura 4). Esse comportamento é muito importante, já que a presença de água no solo é fator decisivo para os processos de solubilização e transporte dos íons solúveis em água aplicados com a prática da fertirrigação da cultura, afetando a concentração dos mesmos na solução do solo. Benedeti (2014) investigando sobre a disponibilidade de nutrientes para a cana-de-açúcar, afirma

que a manutenção da umidade do solo proporciona um ambiente mais adequado para a cana-de-açúcar e interfere positivamente nas liberações de nutrientes no sistema solo planta.

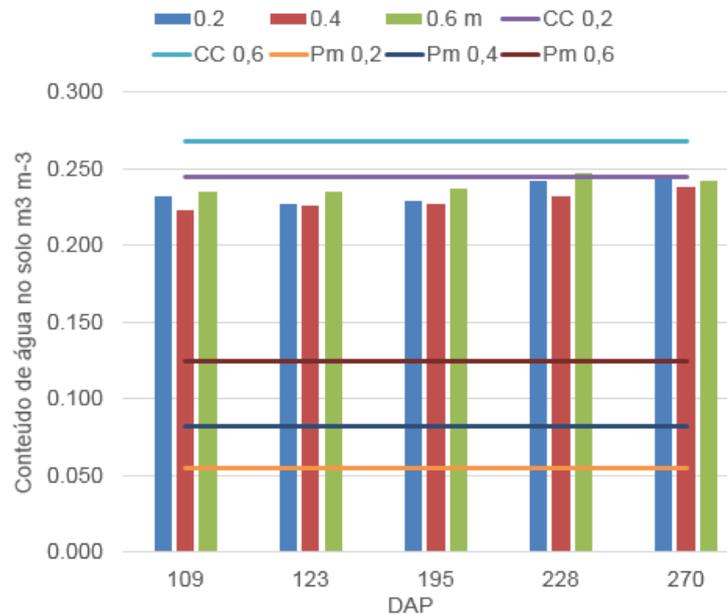


Figura 5 Variação do conteúdo de água no solo nas camadas de 0-0,2 m; 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m e capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) nas camadas de 0-0,2 m; 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m

Os valores de conteúdo de água no solo variaram de 0,210 a 0,250 m³ m⁻³, muito próximos do limite superior de disponibilidade de água no solo (0,260 m³ m⁻³). Em termos de disponibilidade de água no solo, a variação da umidade foi de 63,6% a 75,2% da capacidade de água disponível (CAD) do solo. Isso significa que, nas três profundidades avaliadas, o solo sempre se manteve acima do valor estabelecido como adequado para a cana-de-açúcar (50% da CAD).

Esse comportamento é importante também para reforçar que a concentração dos íons NO₃⁻ e K⁺ na solução do solo deveu-se unicamente as doses de N e K₂O aplicadas e não foram influenciadas pelo fato do solo estar com conteúdo de água distinto nas camadas avaliadas. Contudo, o conteúdo de umidade teve sua importância para assegurar que a cultura não sofreu deficiência hídrica que pudesse afetar seu desenvolvimento a produtividade de colmos.

Na camada de 0,4-0,6 m ocorrem valores maiores quanto à umidade do solo (Figura 5). Tal fato é explicado pela textura mais argilosa do solo nessa camada (181 g kg⁻¹ de argila) (Tabela 1), que favorece maior retenção de água.

3.2 Aplicação das doses de N e de K₂O ao longo do ciclo de cultivo

A distribuição acumulada de N e K₂O de cada tratamento ao longo do ciclo da cultura é apresentada nas Figuras 6 e 7 respectivamente. As quantidades de N e de K₂O aplicadas ao longo do ciclo da cultura obedeceu ao parcelamento planejado (Figura 2) e a fórmula a ser aplicada em cada tratamento. Em se tratando de extração de nitrogênio, Oliveira et al. (2007) afirmam que para sistemas com produtividade de cana-de-açúcar superior a 120 t/ha de matéria natural, a quantidade de N absorvida pela cultura ultrapassa 180 kg ha⁻¹. Neste trabalho, contemplou-se na avaliação essa quantidade de fertilizante nitrogenado com a aplicação do tratamento 2.

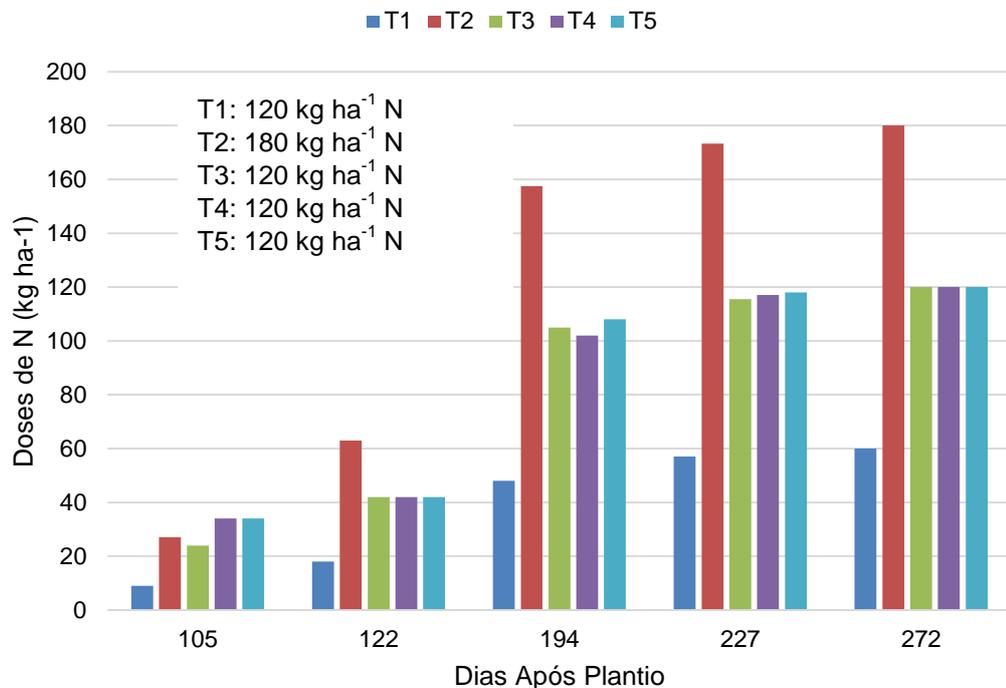


Figura 6 Distribuição acumulada de N de cada tratamento em dias após plantio (DAP) ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar. Teresina – PI, 2014-2015

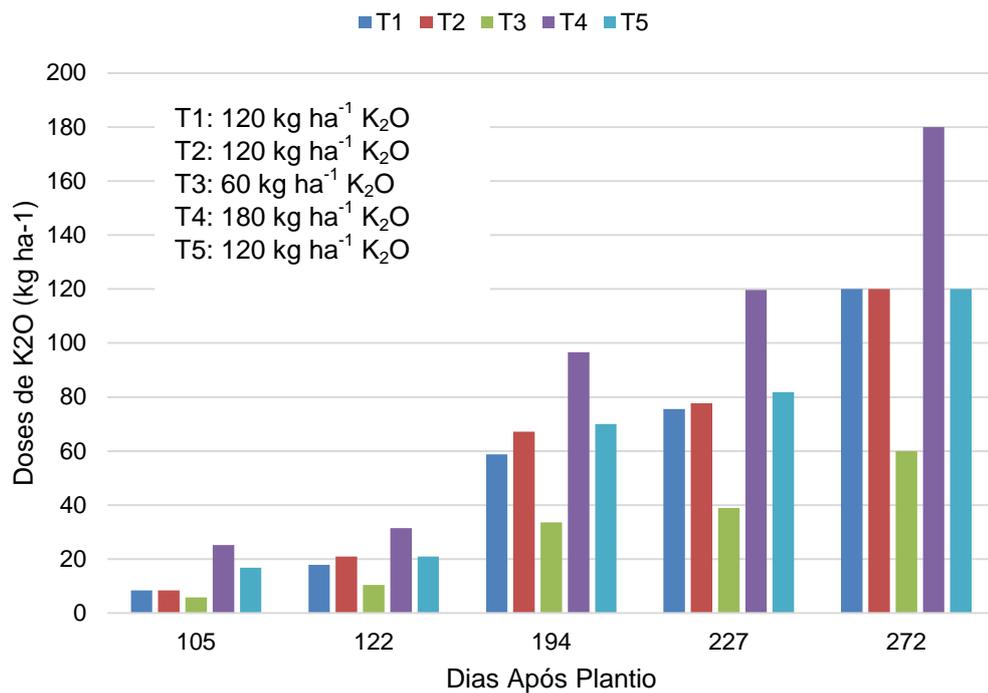


Figura 7 Distribuição acumulada de K₂O de cada tratamento em dias após plantio (DAP) ao longo do ciclo da cultura. Teresina – PI, 2014-2015

Quanto à absorção de potássio, Coelho e Verlengia (1973), em estudo sobre adubação potássica em cana-de-açúcar, afirmam que do nono ao décimo segundo mês, a absorção do referido nutriente é intensa. Estimam que 100 toneladas de colmos frescos extraem cerca de 133,4 kg de potássio. Observando a marcha de absorção do potássio em cana-de-açúcar, Catani et al. (1959) levou em consideração a concentração do nutriente no colmo, detectando maiores teores de K do sexto ao nono mês de cultivo, o que levaram os autores a elucidarem a maior demanda de K no período entre a metade e o final do ciclo, necessitando intensificar a distribuição do referido íon no período mencionado, de modo a atender a demanda da cultura. Essa foi a recomendação seguida no presente estudo.

3.3 Distribuição do íon nitrato no perfil do solo

A Tabela 2 apresenta o resumo da análise de variância para a concentração do íon nitrato (NO₃⁻) quantificado em três profundidades no solo e seis épocas de amostragem ao longo do ciclo da cultura cana-de-açúcar em resposta as doses de nitrogênio, na forma de ureia, aplicadas em fertirrigação por gotejamento subsuperficial.

Tabela 2 Resumo da análise de variância para a concentração do íon nitrato (mg L^{-1}) em três profundidades no solo e seis épocas de amostragem durante o cultivo com cana-de-açúcar. Teresina – PI. 2014-2015.

FV	GL	Época 1	Época 2	Época 3
Bloco	3	2113,91**	690,19**	1414,75**
Tratamentos (T)	4	3652,47**	2797,81**	2274,44**
Erro (a)	12	1366,31**	334,00**	742,58**
Profundidades (P)	2	8662,48**	2622,05**	5616,68**
T*P	8	659,53**	1923,75**	612,64**
Erro (b)	30	38,63	95,77	38,10
CV (a) %		15,34	15,34	26,09
CV (b) %		16,84	24,65	17,74
FV	GL	Época 4	Época 5	Época 6
Bloco	3	1550,20 ^{ns}	1143,50*	13781,84**
Tratamentos (T)	4	24858,20**	1429,68**	24113,61**
Erro (a)	12	8447,86**	3403,60**	10178,96**
Profundidades(P)	2	18907,34**	10505,76**	13069,83*
T*P	8	1310,52*	704,46*	5078,70*
Erro (b)	30	549,66	197,21	1913,41
CV (a) %		14,96	45,99	18,60
CV (b) %		27,22	33,21	24,20

ns: Não significativo ($p > 0,05$); *: Significativo ($0,05 \geq p > 0,01$); **: Significativo ($p \leq 0,01$). As épocas 1,2,3,4,5 e 6 correspondem aos 105, 122, 194, 227, 272 e 326 dias após plantio (DAP), respectivamente.

Houve interação significativa ($p < 0,05$) para a interação entre os tratamentos e as profundidades no que tange as concentrações do íon NO_3^- em todas as épocas de amostragem avaliadas, indicando que a concentração de NO_3^- variou em profundidade no perfil do solo com as doses de N em cada época de amostragem. As médias das concentrações do íon NO_3^- , nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, em resposta as doses de N aplicadas, nas seis épocas de amostragem, são apresentadas nas Figuras 8 a 10, respectivamente.

Com relação a concentração de NO_3^- , na profundidade de 0,0-0,2 m (Figura 8), as maiores concentrações começaram a se consolidar a partir da época 4 (após os 227 DAP), sexto mês de cultivo, mesmo havendo redução de 25% para 20% na aplicação da dose de N no mesmo período (Figura 2). A concentração maior de NO_3^- nas últimas épocas mostra que a cana-de-açúcar possivelmente extraiu menos NO_3^- do solo, já que a necessidade de N para a planta nessa fase reduz-se sensivelmente (PENATTI, 2013). Joris (2015), avaliando a concentração de NO_3^- em diferentes doses de N e profundidades em cultivo com a cana-de-açúcar, concluiu que houve aumento no teor de NO_3^- na camada 0,1-0,2 m ao longo das amostragens em

diversas épocas, corroborando os resultados obtidos no presente estudo. Silveira e Crocomo (1990), investigando a assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta, obtiveram resultados diferentes, justificando esse comportamento ao potencial da cultivar avaliada em acumular quantidades elevadas de N em resposta ao aumento do N no solo, nas fases iniciais do desenvolvimento.

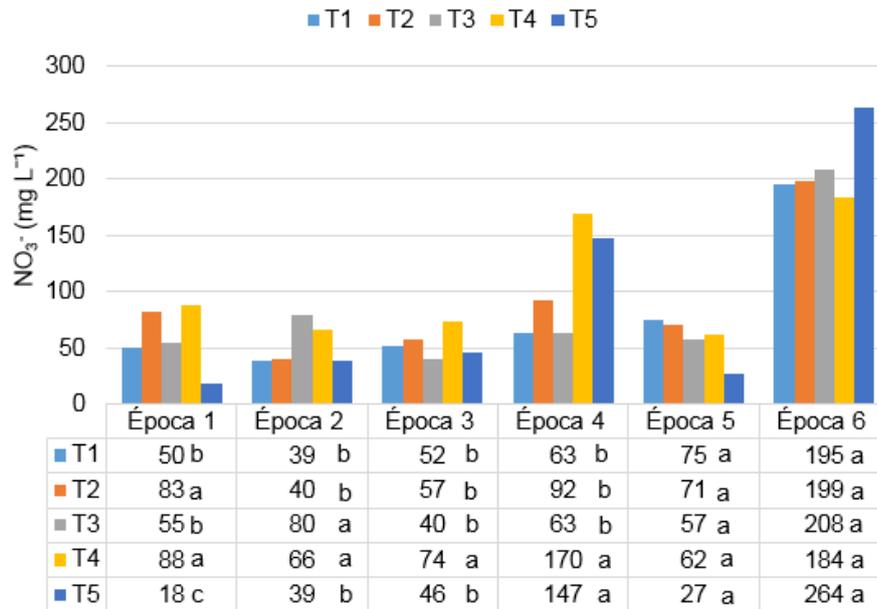


Figura 8 Concentração do íon nitrato na profundidade 0,0-0,2 m em resposta as doses de N aplicadas, nas seis épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Aos 105 dias após plantio (época 1), observa-se na profundidade 0,0-0,2 m que os tratamentos 2 (180 kg ha^{-1} de N) e 4 (120 kg ha^{-1} de N) apresentaram maiores concentrações de NO_3^- , comportamento que se repete na época 3 (194 DAP), ressaltando que os tratamentos mencionados receberam a aplicação das maiores doses de N, porém essa resposta não foi constante ao longo do ciclo de cultivo. Resultados semelhantes foram encontrados por Joris (2015), avaliando o nitrogênio na produção da cana-de-açúcar e analisando concentrações de NO_3^- no perfil do solo, verificou que maiores doses de N (180 kg/ha^{-1}) não resultaram em maiores concentrações de NO_3^- (16 mg kg^{-1}), enquanto doses menores (120 kg/ha^{-1}) chegaram a 16 mg kg^{-1} de NO_3^- .

O tratamento 2 e 4 diferiram-se estatisticamente de todos os tratamentos na época 1, enquanto na época 3, não houve diferença entre os tratamentos, excetuando o tratamento 4.

Com relação à concentração de NO_3^- na profundidade de 0,2-0,4 m (Figura 9), as épocas de 1 a 3 (105 a 194 DAP) mostram-se com valores inferiores aos valores de concentração na profundidade de 0-0,2 m. Esses valores apresentam-se menores em circunstância não só do desenvolvimento e atuação do sistema radicular nessa camada a partir da época 2 (122 DAP), assim como pelo maior consumo inicial pela planta durante esse período, porém a partir da época 4 (227 DAP) a concentração de NO_3^- nesta camada mostra-se crescente, atingindo seus maiores valores na última época de análise (326 DAP). Coelho et al. (2014), observando a concentração de NO_3^- no perfil do solo fertirrigado obtiveram resultados semelhantes a estes, concluindo que a concentração média de nitrato da solução do solo nas camadas 0,0 - 0,30 m aumentou desde o início do ciclo da cultura e prolongou-se por 11 meses.

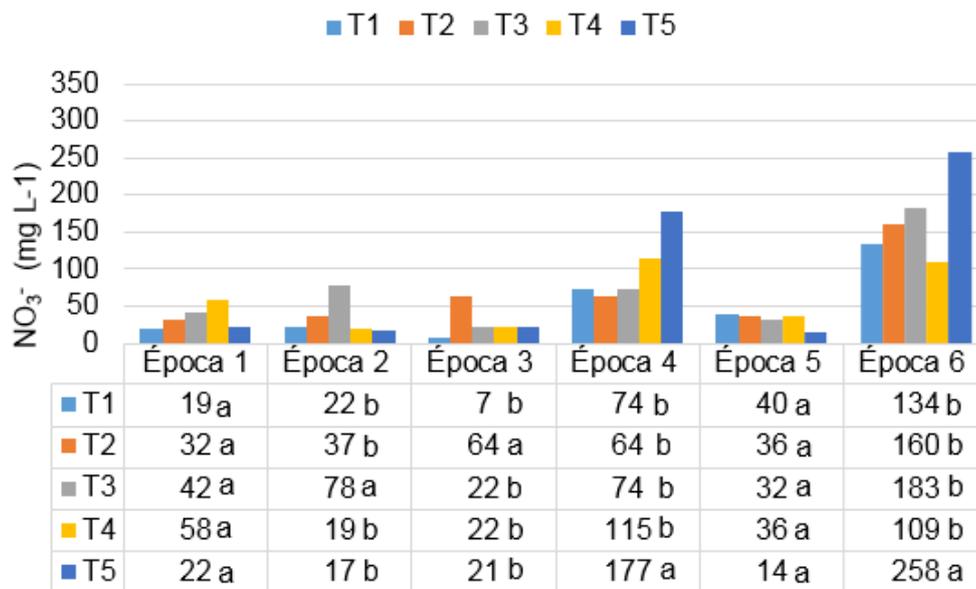


Figura 9 Concentração do íon nitrato na profundidade 0,2-0,4 m em resposta as doses de N aplicadas, nas seis épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos 1 e 2, na época 3 (194 DAP), com a menor e maior concentração de NO_3^- , respectivamente. É importante ressaltar que nessa época os tratamentos 1 e 2 receberam a maior e menor dose de N respectivamente, o que justifica as diferenças nas concentrações de NO_3^- . Quanto aos maiores valores de concentração de NO_3^- na camada de 0,2-0,4 m, constatou-se que os mesmos foram obtidos na época 6 (326 DAP), período em que mesmo com a diminuição da dose de N aplicada, os

valores foram maiores em razão de maiores níveis de precipitação, bem como a diminuição no consumo de N pela cana-de-açúcar (Fortes et al. 2013), deixando o NO_3^- mais disponível na solução do solo. Joris (2015), aplicando diferentes doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha^{-1}) em cana-de-açúcar, percebeu que houve aumento no teor de nitrato na camada 0,2-0,4 m, porém sem resposta significativa, resultados semelhantes ao estudo no tocante ao incremento de NO_3^- na citada camada.

Semelhante às profundidades 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m, as concentrações de NO_3^- na profundidade 0,4-0,6 m, foram superiores na última época (326 DAP), fase próxima ao final do ciclo da cana-de-açúcar. Segundo Gava et al. (2001), Trivelin et al. (1995) e Franco et al. (2008), quantificações de NO_3^- efetuadas no final do ciclo de cultivo demonstraram que a contribuição dos fertilizantes nitrogenados em relação ao N total absorvido pela cana é baixa, variando de 10 a 16%.

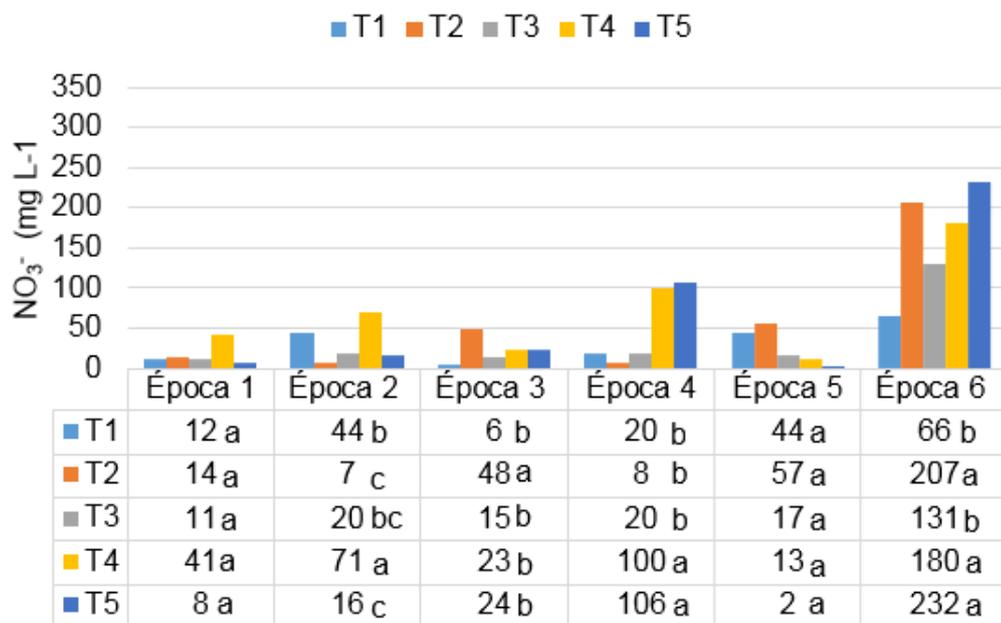


Figura 10 Concentração do íon nitrato na profundidade 0,4-0,6 m em resposta as doses de N aplicadas, nas seis épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Segundo esses mesmos autores, o consumo maior de N na fase inicial, e consequentemente menor concentração do íon NO_3^- no solo, é ratificada se observamos que na época 2 (aos 122 DAP), no tratamento 2, em que foi aplicado a maior dose de N, mostrou-se com a menor concentração de NO_3^- . Por outro lado, na época 3 (aos 194 DAP), quando o tratamento 2 recebeu 50 % a mais de N que os outros tratamentos, obteve-se as maiores concentrações de NO_3^- no solo. Ressalta-

se que na época 3, as plantas já estavam ultrapassando a metade do seu ciclo (194 dias após plantio), o que diminui a demanda por N. Bologna-Campbell (2007), pesquisando sobre balanço de nitrogênio no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta, detectou baixa disponibilidade de NO_3^- na fase de formação de colmo e ponteiro (fase inicial do ciclo), atribuindo a baixa disponibilidade do referido íon ao consumo pela planta.

Por ser a camada mais profunda em estudo esperava-se que na profundidade 0,4-0,6 m, as concentrações de NO_3^- fossem maiores, caracterizando o processo de lixiviação, que consiste no transporte dos íons para as camadas mais profundas do perfil do solo. Porém, não há uma diferença nítida nos valores de concentração de NO_3^- se comparada às demais camadas analisadas, demonstrando a eficiência da fertirrigação, bem como do sistema de irrigação subsuperficial, corroborando com os resultados obtidos por Gil et al. (2008), no qual afirmam que a irrigação por gotejamento superficial (IGS) apresenta elevada uniformidade de aplicação de água, reduzindo a percolação do íon NO_3^- .

É importante ressaltar que, mesmo com as concentrações proporcionalmente menores, foram nas últimas épocas de avaliação e nas três profundidades em estudo, que se detectou as maiores concentrações de NO_3^- . Oliveira (2008), em conclusão de seu estudo sobre dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar, afirma que a adubação com N deve ocorrer somente até os 120 dias após o plantio, por acreditar que após o período mencionado haja uma baixa na demanda pelo referido íon.

Coelho et al. (2014), investigando sobre concentração de NO_3^- no perfil do solo fertirrigado, observaram que as concentrações médias de NO_3^- na solução do solo, nas profundidades de 0,3 e 0,6 m aumentaram ao longo do intervalo de onze meses. A concentração média correspondente ao período de condução do experimento não diferiu entre as profundidades de 0,3 e 0,6 m, resultados discordantes aos obtidos no presente estudo, onde foi detectado diferença estatística na concentração de NO_3^- dentre as profundidades 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m avaliadas.

Oliveira et al. (2001), pesquisando sobre lixiviação de NO_3^- em um Latossolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar, perceberam que as concentrações de NO_3^- nas amostras de solução do solo coletadas nas profundidades de 0,3, 0,6 e 0,9 m, durante todo o período experimental, variaram com os tratamentos e épocas de

amostragens. Aumentos nos teores de NO_3^- ocorreram, em todas as profundidades, obedecendo as quantidades de nitrogênio aplicadas através das doses crescentes, resultados estes concordantes com os do presente estudo. Essa tendência consolida a proporcionalidade de aplicação e concentração do íon NO_3^- , a exemplo, o tratamento 2 na época 3, que recebeu a maior dose de N (180 kg ha^{-1}), resultando em concentrações maiores nas profundidades 0,2-0,4 m (63.9 mg L^{-1}) e 0,4-0,6 m (47.68 mg L^{-1}) (Figuras 9 e 10).

Segundo esses mesmos autores, as diferenças nas concentrações de NO_3^- , nas épocas de amostragens e em profundidade, podem ser atribuídos à percolação da água de chuva. No caso do presente estudo, a precipitação somada à lâmina de irrigação apresentou seu maior índice em abril (Figura 4), situação semelhante à da umidade do solo (Figura 5), que promoveu nas três profundidades os maiores picos de concentração de NO_3^- , justamente no mês de abril (aos 326 DAP), ratificando a interferência, em especial, da precipitação na concentração de NO_3^- na solução do solo.

3.4 Concentração do íon nitrato nas folhas

A Tabela 3 traz o resumo da análise de variância da concentração do íon NO_3^- na folha ao longo de cinco épocas de cultivo.

Tabela 3 Resumo da análise de variância para a concentração do íon nitrato (g kg^{-1}) na folha em cinco épocas de amostragem durante o cultivo com cana-de-açúcar. Teresina – PI. 2014-2015.

FV	GL	Época 1	Época 2	Época 3
Bloco	3	0,11**	1,06 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Tratamentos	4	5,25**	0,60 ^{ns}	1,51**
Erro	12	0,01	0,88	0,22
CV %		0,81	7,16	3,35
FV	GL	Época 4	Época 5	
Bloco	3	0,45 ^{ns}	1,20 ^{ns}	
Tratamentos	4	1,12 ^{ns}	1,16 ^{ns}	
Erro	12	0,69	1,85	
CV %		7,0	11,46	

ns: Não significativo ($p > 0,05$); *: Significativo ($0,05 \geq p > 0,01$); **: Significativo ($p \leq 0,01$). As épocas 1,2,3,4,5 e 6 correspondem aos 105, 122, 194, 227, e 272 dias após plantio (DAP), respectivamente.

Houve significância ($p < 0,05$) entre os tratamentos no que tange as concentrações do íon NO_3^- nas épocas 1 e 3, indicando que a concentração de NO_3^- na folha variou em razão das doses de N aplicada.

É importante ressaltar que além das propriedades químicas, físicas, biológicas e físico-hídricas, um dos fatores interferentes na concentração do íon NO_3^- no solo é a absorção do referido íon pela planta. Dada essa importância, a Figura 11 apresenta a concentração de NO_3^- em cinco épocas, aos 105, 122, 194, 227 e 272 DAP.

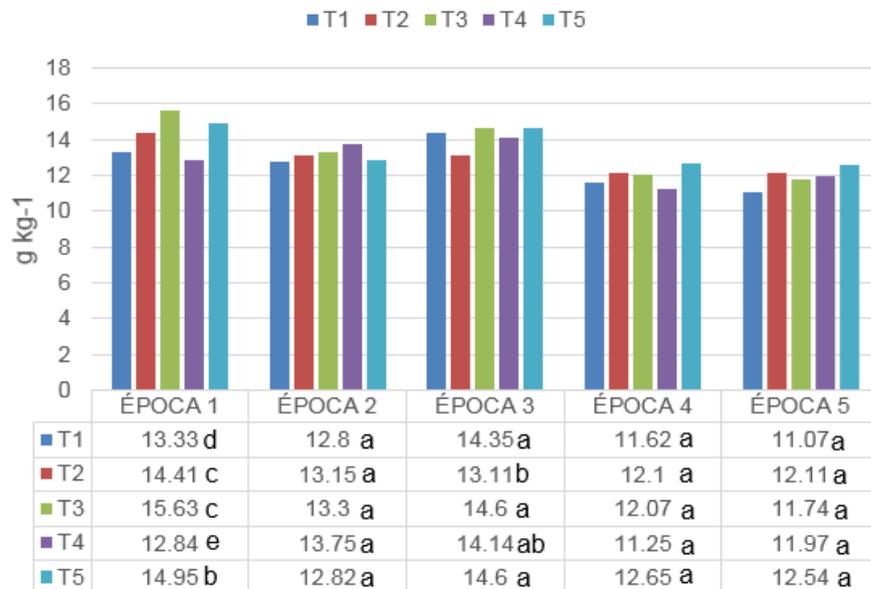


Figura 11 Concentração do íon nitrato na folha em resposta as doses de N aplicadas, em cinco épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

As concentrações de NO_3^- na folha estão de acordo com as concentrações indicadas por Fernandes e Rossiello (1995). Esses autores afirmam que a concentração de nitrato no tecido vegetal varia em torno de 10 g kg^{-1} , porém neste trabalho variou entre 11 e 15 g kg^{-1} .

Comparando a primeira época (105 DAP) com a última (272 DAP), há uma redução de concentração de NO_3^- . Resultados semelhantes foram encontrados por Megda (2013), utilizando doses de 100 kg ha^{-1} de diversas fontes de N avaliando transformações do N derivado do fertilizante no solo em cana de açúcar, onde observou redução de NO_3^- na época final de avaliação (150 dias após adubação). A autora atribui tal fato ao aumento na atividade da enzima redutase do nitrato, indicando que parte do nitrato foi reduzido a amônio.

Na Figura 11, mostra que na época 1 (105 DAP) o tratamento cinco apresenta-se com a segunda maior concentração de NO_3^- ($14,95 \text{ g/kg}$), resultado que corrobora a concentração de NO_3^- no solo, onde o referido tratamento mostrou-se com a menor concentração de NO_3^- nas profundidades de 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6

m (Figuras 8, 9 e 10). Embora os tratamentos 3, 4 e 5 tenham recebido a mesma dose de N (120 kg ha^{-1}), o tratamento 3 mostrou-se na citada época com maior concentração, possivelmente devido a fertilidade natural do solo.

Na época 3, mais precisamente o tratamento 2, que difere estatisticamente dos tratamentos um, três e cinco, se apresenta com a menor concentração foliar, enquanto no solo registra-se a maior concentração de NO_3^- , em especial nas profundidades 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m.

Os demais tratamentos nas épocas 4 e 5 (227 e 272 DAP) não apresentaram diferença estatística entre si, porém a razão de proporcionalidade se repetiu na última época de análise foliar (época 5), onde o tratamento cinco que se mostrou com maior concentração, ocasionalmente obteve a menor concentração de NO_3^- nas três profundidades em estudo.

Praticamente não há diferença estatística para as concentrações de NO_3^- na folha com a aplicação dos tratamentos, resultados que corroboram com os obtidos por Pereira (2015), que avaliando as transformações do nitrogênio no solo e resposta da cana-planta à adubação nitrogenada, constatou que os tratamentos não diferiram entre si quanto ao teor de N na folha da cana. Outro resultado relevante foi que a maior concentração foliar de N ($19,5 \text{ g kg}^{-1}$) não foi a da maior dose aplicada ($90 \text{ kg de N ha}^{-1}$), resultado semelhante ao deste trabalho, no qual obteve-se concentração foliar de $14,95 \text{ g kg}^{-1}$ com a dose de $120 \text{ kg de N ha}^{-1}$.

3.5 Distribuição do íon potássio no perfil do solo

A Tabela 4 apresenta o resumo da análise de variância para a concentração do íon potássio (K^+) quantificado em três profundidades no solo em seis épocas de amostragem ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar em resposta as doses de potássio, na forma cloreto de potássio, aplicadas em fertirrigação por gotejamento subsuperficial.

Semelhante a distribuição do íon NO_3^- , pode-se perceber na análise de variância do íon potássio que, além dos tratamentos, a variável profundidade também se mostrou com efeito significativo em todas as épocas, mostrando que a profundidade se torna um fator que interfere na distribuição da concentração do íon K^+ no solo.

As médias das concentrações do íon K^+ , nas profundidades de 0-0,2 m, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m, em resposta as doses de K aplicadas, nas seis épocas de amostragem, são apresentadas nas Figuras 12 a 14.

Tabela 4 Resumo da análise de variância para o íon potássio (ppm) em três profundidades no solo e seis épocas de amostragem durante o cultivo com cana-de-açúcar. Teresina – PI. 2014-2015

FV	GL	Época 1	Época 2	Época 3
Bloco	3	216,84*	17367,68**	5581,00**
Tratamentos (T)	4	502,11**	86090,43**	6598,48**
Erro (a)	12	146,59**	16944,58**	1446,38**
Profundidades (P)	2	2708,36**	1581,43**	6736,81**
T*P	8	198,75**	10690,65**	1090,86**
Erro (b)	30	49,15	222,86	183,20**
CV (a) %		14,96	9,44	16,07
CV (b) %		26,00	27,43	17,15
FV	GL	Época 4	Época 5	Época 6
Bloco	3	551,54*	71,32**	84,37**
Tratamentos (T)	4	241,02 ^{ns}	50,86**	123,50**
Erro (a)	12	400,09*	34,43**	60,23**
Profundidades(P)	2	3143,00**	32,57**	161,08**
T*P	8	100,11**	2,09 ^{ns}	15,80 ^{ns}
Erro (b)	30	130,11	3,28	7,40
CV (a) %		18,52	26,86	19,10
CV (b) %		31,69	24,82	20,09

ns: Não significativo ($p > 0,05$); *: Significativo ($0,05 \geq p > 0,01$); **: Significativo ($p \leq 0,01$). As épocas 1,2,3,4,5 e 6 correspondem aos 105, 122, 194, 227, 272 e 326 dias após plantio (DAP), respectivamente.

Houve interação significativa ($p < 0,05$) para a interação entre os tratamentos e as profundidades no que tange as concentrações do íon NO_3^- em todas as épocas de amostragem avaliadas, excetuando as épocas 5 e 6, indicando que a concentração de K^+ variou em profundidade no perfil do solo com as doses de K_2O nas épocas de amostragem. As médias das concentrações do íon K^+ , nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, em resposta as doses de K aplicadas, nas seis épocas de amostragem, são apresentadas nas Figuras 12 a 14, respectivamente.

Com relação a variação da concentração do íon K^+ na solução do solo, na camada de 0,0-0,2 m (Figura 12), constatou-se que no tratamento 4, que recebeu a maior dose de K_2O ao longo da fertirrigação, mostrou-se com maior concentração do íon K^+ em quatro das seis épocas avaliadas. Houve diferença estatística entre as concentrações do íon K^+ , evidenciando sua resposta proporcional quanto à

aplicação de K_2O , principalmente no tocante ao incremento de K^+ na solução do solo entre as épocas 1 e 2. Flores et al. (2012), avaliando a distribuição de potássio no cultivo de cana-de-açúcar, encontrou resultados semelhantes, concluindo que a aplicação de potássio na de cana-de-açúcar afetou a concentração do íon K^+ na solução do solo, na camada superficial. Observaram que a aplicação de doses crescentes de K_2O proporcionava incremento na concentração do íon K^+ na solução do solo na camada 0,0-0,2 m de profundidade.

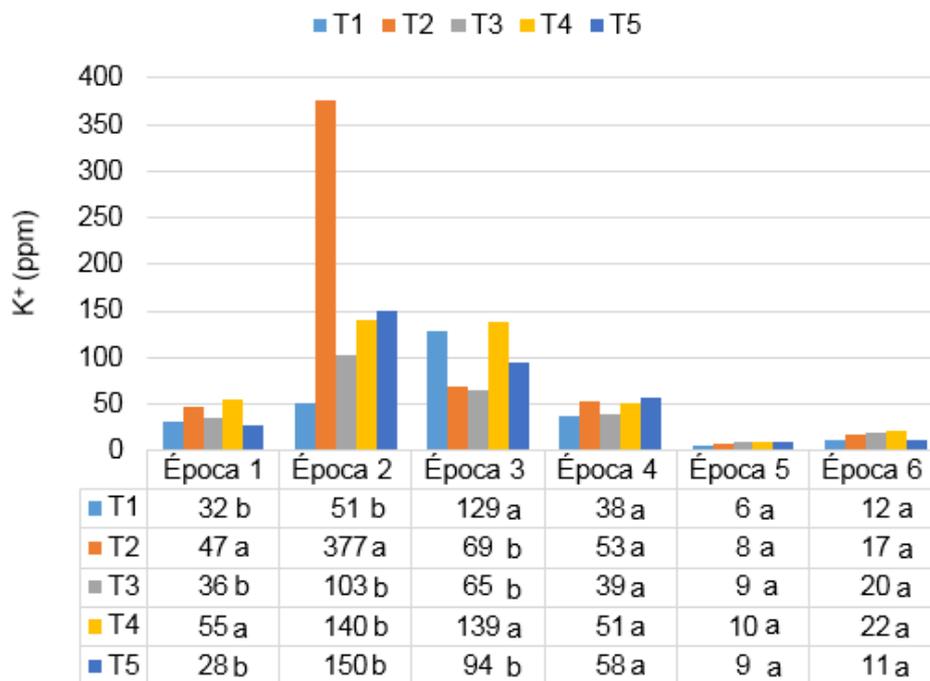


Figura 12 Concentração do íon potássio na profundidade 0,0-0,2 m em resposta às doses de K_2O aplicadas, nas seis épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

O aumento da concentração do íon K^+ na camada superficial do solo, em função da aplicação de doses crescentes de K_2O , já era esperado, uma vez que, em solos argilosos, com alta capacidade de troca de cátions (CTC), a perda de K^+ por lixiviação é pequena (MIELNICZUK, 1982).

Na época dois, o tratamento 2, apresenta uma concentração elevada (377 ppm) de K^+ na profundidade 0,0-0,2 m. Tal resultado pode ser explicado pelo aumento da quantidade de K_2O aplicada entre a época 1 e 2 ($12,6 \text{ kg ha}^{-1}$, Figura 7) além da referida profundidade apresentar quase o dobro em concentração de K^+ da fertilidade natural do solo ($0,23 \text{ cmolc/dm}^3$) se comparada a profundidade 0,4-0,6 m ($0,12 \text{ cmolc/dm}^3$) e mais que o triplo da profundidade 0,2-0,4 m ($0,7 \text{ cmolc/dm}^3$) (Tabela 1). Outra circunstância que tenha resultado no referido dado possivelmente

tenha decorrência de erro experimental, dada a elevada quantidade amostras a serem coletadas/analizadas (60/época)

Não só na camada 0,0-0,20 m, como nas camadas 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m as maiores concentrações de K^+ apresentam-se nas épocas iniciais (1, 2 e 3), ocorrendo o inverso nas épocas finais (4, 5 e 6). Esse fato leva a constatação que o consumo de K^+ nas fases iniciais do ciclo vegetativo da cana-de-açúcar são menores se comparados às fases finais. Vitti et al. (2005) recomenda que antes do fechamento do dossel do canavial, seja feita adubação com elevados teores de K_2O em razão do seu alto consumo na reta final do ciclo, o que pode ser observado nas épocas finais em todas as profundidades avaliadas, devido ao elevado consumo de K^+ , há reduzidas concentrações desse íon nas referidas épocas.

Quanto a concentração na camada intermediária (0,2-0,4 m) (Figura 13), pode-se observar em termos quantitativos, que o tratamento 4 que recebeu a maior dose de K_2O (180 kg ha^{-1}), apresentou-se com as maiores concentrações do íon K^+ em três dos seis momentos de avaliação, mostrando que houve resposta proporcional da concentração do íon K^+ à dose de K_2O aplicada, porém não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Bebé et al. (2009) corroboram com estes resultados em seu estudo sobre a distribuição e dinâmica do íon K^+ via fertirrigação em cana-de-açúcar, onde puderam constatar que as doses crescentes de K_2O promoveram aumento da concentração do íon K^+ potássio disponível na solução do solo em todas as profundidades avaliadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2010) e Rossetto et al. (2004), os quais constataram que a aplicação de fertilizantes a base de K_2O incrementou, com ajuste linear, a concentração do íon K^+ na solução do solo.

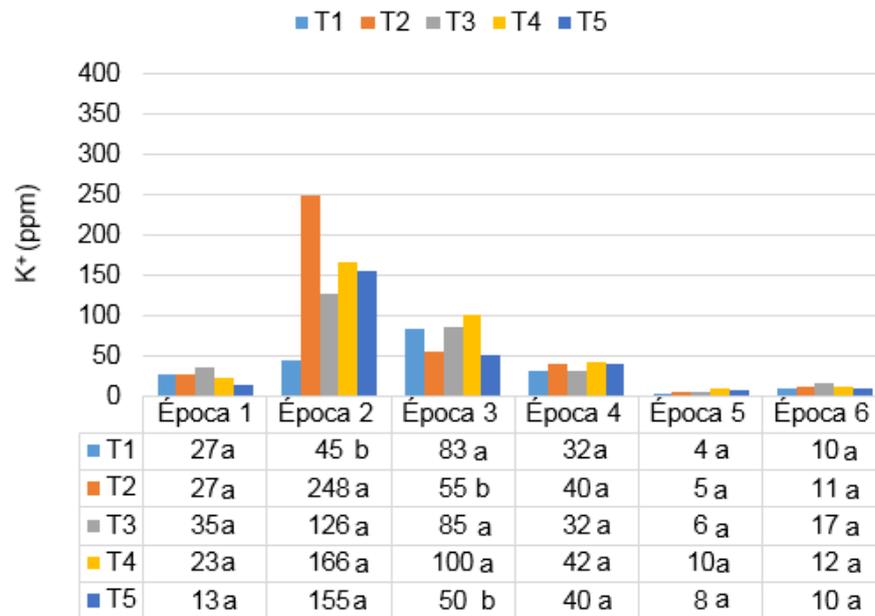


Figura 13 Concentração do íon potássio na profundidade 0,2-0,4 m em resposta as doses de K_2O aplicadas, nas seis épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Em razão de ser a camada em estudo mais profunda, esperava-se que as concentrações maiores de íon K^+ ocorressem na profundidade 0,4-0,6 m (Figura 14) em relação às demais, o que caracterizaria o processo de lixiviação, ou seja, o deslocamento de K^+ para as camadas mais profundas do perfil do solo, fato esse devido principalmente, à ocorrência de precipitações. Penatti (1999), em solo argiloso de mineralogia caulinítica e oxidica, de baixa fertilidade, avaliou a aplicação de quantidade crescente de K_2O durante quatro épocas. Concluíram que houve enriquecimento em K^+ nas camadas até 0,5 m de profundidade.

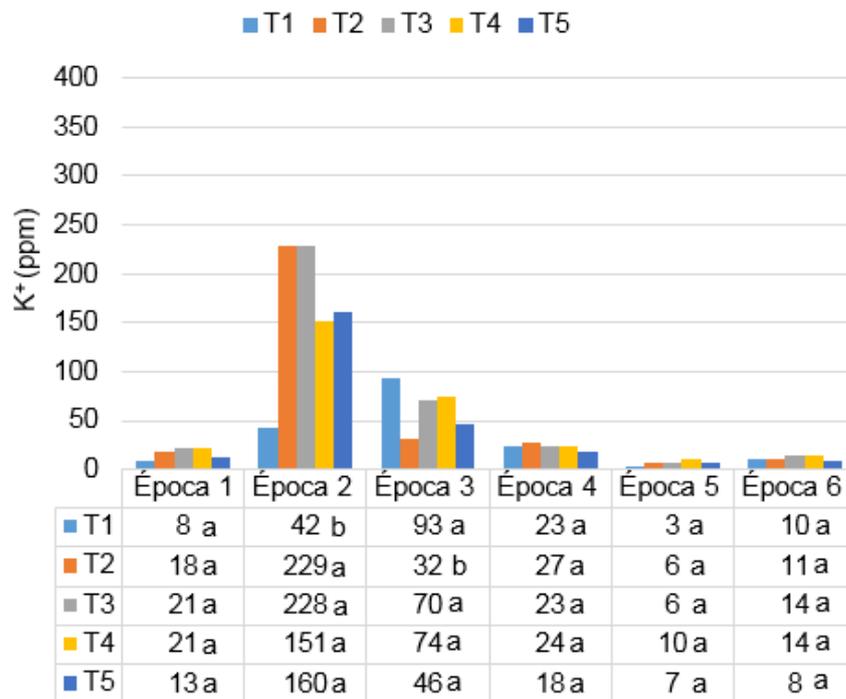


Figura 14 Concentração do íon potássio na profundidade 0,4-0,6 m em resposta as doses de K_2O aplicadas, nas seis épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Ainda na profundidade de 0,4-0,6 m, observou-se valores de concentração maior de K^+ na época 2 (aos 122 DAP), período que não corresponde sequer à metade do ciclo da cana-de-açúcar, situação essa semelhante nas demais profundidades em estudo.

Em estudo realizado por Coelho & Verlengia (1973), os mesmos afirmam que em relação às necessidades nutricionais da cana-de-açúcar, até o quinto mês de idade a absorção de nutrientes pela cultura é pequena, aumentando intensamente daí em diante, chegando ao nono mês contendo 50% de potássio. Os referidos autores afirmam ainda que do nono ao décimo segundo mês, a absorção é ainda mais intensa. Esses autores relatam que em 100 toneladas de colmos frescos são extraídos cerca de 133,4 kg de potássio, extração que supera as extrações de fósforo (17,4 kg), cálcio (19,0 kg), magnésio (31,3 kg), enxofre (12,2 kg), ferro (0,003 kg), manganês (0,002 kg), molibdênio (0,002 kg) e zinco (0,486 kg).

3.6 Concentração do íon potássio na folha

A Tabela 5 traz o resumo da análise de variância da concentração do íon K^+ na folha ao longo de cinco épocas de cultivo.

Tabela 5 Resumo da análise de variância para a concentração do íon potássio ($g\ kg^{-1}$) na folha em cinco épocas de amostragem durante o cultivo com cana-de-açúcar. Teresina – PI. 2014-2015

FV	GL	Época 1	Época 2	Época 3
Bloco	3	0,15 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Tratamentos	4	0,14 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,28 ^{**}
Erro	12	1,73	2,16	0,32
CV %		2,32	2,53	0,95
FV	GL	Época 4	Época 5	
Bloco	3	1,56 ^{ns}	12,68 ^{ns}	
Tratamentos (T)	4	1,24 ^{ns}	2,24 ^{ns}	
Erro	12	10,70	200,95	
CV %		6,68	18,24	

ns: Não significativo ($p > 0,05$); *: Significativo ($0,05 \geq p > 0,01$); **: Significativo ($p \leq 0,01$). As épocas 1,2,3,4,5 e 6 correspondem aos 105, 122, 194, 227, e 272 dias após plantio (DAP), respectivamente.

Houve significância ($p < 0,05$) entre os tratamentos no que tange as concentrações do íon K^+ somente na época 3 (194 DAP). As demais épocas, os tratamentos não diferiram entre si em razão das doses de K_2O aplicada em cada época de amostragem.

A Figura 15 apresenta os teores de K^+ em cinco épocas dos cinco tratamentos, aos 105, 122, 194, 227 e 272 DAP, assim como traz o teste de médias identificando as diferenças estatísticas na época 3, detectadas na análise de variância (Tabela 5).

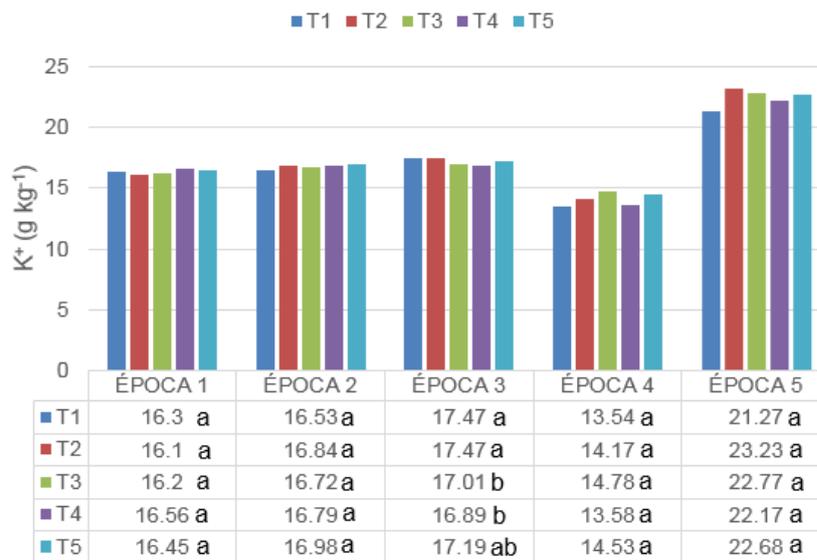


Figura 15 Concentração do íon potássio na folha em resposta as doses de K_2O aplicadas, em cinco épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Quanto a concentração foliar de K^+ , observa-se homogeneidade entre os tratamentos, excetuando na época 3 (194 DAP) onde o tratamento quatro difere-se estaticamente dos tratamentos um e dois enquanto o tratamento três difere-se do tratamento um e dois. Em termos quantitativos, maiores concentrações de K^+ na folha são encontradas na época 5 (272 DAP), fase próxima ao fim do ciclo, ratificando a maior demanda de K nas fases finais, como já exposto, ressaltando que na época citada foi justamente a época em que menores valores de K^+ foram encontrados na solução solo.

Somente na época 5 (272 DAP), a maior dose de K (T4 180 kg de K_2O ha^{-1}) respondeu em maiores concentrações na folha. Resultados semelhantes foram encontrados por Pancelli (2011), avaliando a nutrição potássica em cana de açúcar, onde obteve a maior concentração foliar de K ($6,4 g kg^{-1}$) com aplicação de $195 kg ha^{-1}$. Com semelhança nesses resultados, Silva (2010), trabalhando com aplicação de potássio na primeira soqueira da variedade IAC SP 93-3046, observou incremento linear no teor e acúmulo de potássio nas folhas. Foi observado pelo mesmo autor o teor de potássio para folhas entre 7 e $11 g kg^{-1}$.

O tratamento 3 ($60 kg ha^{-1}$ de K_2O) mostra-se com concentrações foliares maiores de K^+ nas épocas 2,3,4 e 5 se comparado ao tratamento 4, que recebeu o triplo de K_2O ($180 kg ha^{-1}$). O referido resultado pode ser explicado pelo fato do tratamento 3 mostra-se com menores concentrações de K^+ no solo nas épocas 2,3,4

e 5 nas camadas 0-0,20 e 0,2-0,4 m, assim como nas épocas 4 e 5 na camada 0,4-0,6. Outro possível fator que contribuiu para esse resultado seria a fertilidade natural do solo.

4 CONCLUSÕES

A distribuição da concentração de íon NO_3^- no cultivo de cana-de-açúcar, ciclo de cana planta, ocorre de forma mais intensa no início do ciclo, enquanto que a do íon K^+ ao final do ciclo vegetativo.

As concentrações de íons NO_3^- e K^+ na solução do solo são condicionadas às épocas de avaliação, profundidades e doses de N e K_2O aplicadas via fertirrigação. As maiores concentrações de íon NO_3^- (264 mg L^{-1}) e K^+ (377 ppm) apresentaram-se na profundidade 0,0,0-0,2 m.

Não houve lixiviação dos íons NO_3^- e K^+ para a camada mais profunda do solo ($>0,4 \text{ m}$), visto as concentrações semelhantes obtidas nas três profundidades em estudo, enfatizando a eficiência de aplicação dos fertilizantes via fertirrigação no cultivo da cana-de-açúcar.

5 REFERÊNCIAS

BRASIL. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC). **Exigências climáticas da cana de açúcar**. Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_10_711200516716.html>. Acesso em: 23 fev. 2016.

_____. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC). **Fixação biológica de nitrogênio**. Disponível em: <

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_31_711200516717.html >. Acesso em: 25 mar. 2016.

_____. Embrapa Milho e Sorgo. **Análise de nitrato e amônio em solo e água**. Sete Lagoas-MG, 2010.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>> Acesso em: 20 fev. 2014.

ANDRADE, E. M. de et al. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Ciência Rural**, v. 39, p. 88-95, 2009.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al., Crescimento da cana-de-açúcar (1ª soca) sob diferentes níveis de fertirrigação potássica. Embrapa Meio-Norte. União-PI, 2010.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de et al. Classificação climática e regionalização do semiárido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 143-151, maio/ago. 2005.

BALL-COELHO, Batista et al. Root dynamics in plant and ratoon crops of sugar cane. **Plant and soil**, v. 142, n. 2, p. 297-305, 1992.

BASTOS, E.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Boletim Agrometeorológico de 2012 para o Município de Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, p18, Documentos 228. 2013

BEBÉ, F. V. et al. Dinâmica do potássio em cana de açúcar fertirrigada com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 781-787, 2009.

BENEDETTI, Marcelo Muniz. Palhada de cana-de-açúcar em condição de cerrado: decomposição e disponibilidade de nutrientes. 2014. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2014.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta. 2007. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2007.

CATANI, R. A. et al. A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e silício pela cana de açúcar, Co 419, e o seu crescimento em função da

idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 16, p. 167-190, 1959.

CORREIA, C. B. G. et al. Cana-de-açúcar: parâmetros tecnológicos em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura-DOI: 10.7127/rbai.v8n100204. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 1, p. 26-37, 2014.

COELHO, E.F. et al. Concentração de nitrato no perfil do solo fertirrigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. v. 18, p. 263-269, 2014.

COELHO, F.S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384p.

FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, O.P.R. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 14, p. 111-148, 1995.

FLORES, Rilner Alves et al. Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 106-111, 2012.

FORTES, C. et al. Aproveitamento pela cana de açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. especial, p. 2763-2770, 2008.

FRANCO, H. C.; FARONI, C. E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 88-96, 2013.

FREITAS, C. A. et al. Efluente de esgoto doméstico tratado e reutilizado como fonte hídrica alternativa para a produção de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 7, p. 727-734, 2013.

GAVA, G. J. C. Utilização do nitrogênio da ureia (15N) e da palhada (15N) por soqueira de cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GIL, M. et al. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. **Irrigation Science**, v. 26, p. 451-458, 2008.

JORIS, H. A. W. Nitrogênio na produção de cana-de-açúcar: aspectos agronômicos e ambientais. 2015. **Tese de Doutorado**. Instituto Agronômico, Campinas-SP. 2015.

PANCELLI, M. A. Nutrição potássica e produção da soqueira de cana-de-açúcar no sistema de cana crua. 2011. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal-SP, 2011.

PENATTI, C. P. Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência. 1. ed. Itu, SP, Brazil: Editora Ottoni, 347p. 2013

PIMENTEL, F. G. **Iniciação a estatística**. 2. ed. São Paulo: Livraria Nobel, 1968, 430p.

SAS INSTITUTE. SAS® 9.2 Software. Cary, 2014. Disponível em: <<http://support.sas.com/software/92/>>. Acesso em: 04 fev. 2014.

SILVA, C.R. et al. Calibration of a capacitance probe in a paleudult. *Scientia Agrícola*, v. 64, p. 636-640, 2007.

SILVA, T. M. R. **Nutrição potássica na primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivada em sistema de colheita sem despalha a fogo**. 2010. 58 f. TCC (Graduação em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

ROSSETTO, R. et al. Calagem para cana-de-açúcar e sua interação com doses de potássio. *Bragantia*, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração: experiências brasileiras. In: YAMADA, T.; MUZZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. (Eds.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: **Instituto da Potassa e Fosfato**, 1982. p. 289-303.

MEGDA, M. X. V. Transformações do N derivado do fertilizante no solo e a eficiência de utilização pela cultura da cana-de-açúcar cultivada em solo coberto por palha. 2013. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2008

MELO F. de B.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; PESSOA, B. L. de O. **Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, p. 14, 2014.

NOLETO, D. H. Coeficiente de cultura e demanda hídrica da cana-de-açúcar na microrregião de Teresina, Piauí. **Dissertação de Mestrado** – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2015.

OLIVEIRA, EMÍDIO CANTÍDIO ALMEIDA de. Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção. 2008. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. 2008.

OLIVEIRA, Fernando Carvalho et al. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Scientia Agrícola*, v. 58, n. 1, p. 171-180, 2001.

OLIVEIRA, Mauro Wagner et al. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007.

PEREIRA, GREICE LEAL. Transformações do nitrogênio no solo e a resposta da cana-planta à adubação nitrogenada em função da rotação com crotalária. 2015. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP. 2015.

SILVA, C.R. et al. Calibração da sonda de capacitância Diviner 2000® em um Argissolo. **XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 2006 João Pessoa, PB, Resumos Expandidos.

SILVEIRA, J. A. G.; CROCOMO, O. J. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em presença de elevado nível de ne de vinhaça no solo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 2, n. 2, p. 7-15, 1990.

THORNTHWAITTE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. 86 p. (Publication in Climatology, v. 8, n. 1).

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L; RODRIGUES, J.C.S Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia ¹⁵N e ureia ¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 30, n.12, p. 1375-1385, 1995.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. **Cana-de-açúcar: Ambientes de produção. Informações Agrônomicas**, n. 110, p. 1-5, 2005.

VITTI, G. C. et al. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Bebedouro: [s.n.], p. 15-18, 2005.

Capítulo II: Desenvolvimento vegetativo e produtividade de colmos da cana-de-açúcar em resposta a concentração iônica de nitrato e potássio aplicados via fertirrigação na microrregião de Teresina – PI

RESUMO

Em razão da crescente demanda pela produção de açúcar e de combustíveis menos poluentes e com preços mais acessíveis, surge um contexto favorável para expansão de cultivo de cana-de-açúcar. O Nordeste Brasileiro é responsável por apenas 11% da produção nacional de cana-de-açúcar, em razão da má distribuição pluviométrica, bem como ausência ou manejos inadequados. A análise de crescimento de plantas é ferramenta fundamental para se avaliar os efeitos de fatores de manejo cultural sobre o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar. Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar o desenvolvimento vegetativo e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar cultivada em um Argissolo em resposta a concentração dos íons nitrato e potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento subsuperficial na microrregião de Teresina – PI. O experimento foi conduzido na área Experimental da Embrapa Meio-Norte, em um delineamento experimental de blocos casualizados com cinco formulações (T1: 60 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K₂O; T2: 180 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K₂O; T3: 120 kg ha⁻¹ de N + 60 kg ha⁻¹ de K₂O; T4: 120 kg ha⁻¹ de N + 180 kg ha⁻¹ de K₂O e T5: 120 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K₂O). Avaliou-se o desenvolvimento vegetativo em seis épocas (98, 131, 182, 223, 276 e 333 dias após plantio), por meio de leituras biométricas de comprimento e diâmetro do colmo, área foliar total e matéria seca total. Na colheita foi avaliado a produtividade de biomassa (TCH). Para a matéria seca total (MST), a maior dose de N (180 kg ha⁻¹) mais a dose intermediária de K (120 kg ha⁻¹) refletiram na maior concentração registrada de K⁺ (377 ppm), que resultou em maiores valores de MST (0,9 kg), enquanto não houve variação sensível quanto a área foliar total. As maiores TCH (186,93 t ha⁻¹) foram obtidas no tratamento 1 (60 kg ha⁻¹ de N + 120 kg ha⁻¹ de K₂O) que atingiu valores iônicos totais de 961 mg L⁻¹) de NO₃⁻ e 648 ppm de K⁺.

Palavras-chave: Adubação, produção, *Saccharum officinarum*.

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar passou a ser considerada, recentemente, uma commodity, valorizada pela capacidade que tem de gerar energia limpa e renovável e de substituir parte da matriz energética global, atualmente centrada na utilização de combustíveis hidrocarbonetos de origem fóssil (DANTAS NETO et al., 2006; TEODORO et al., 2009).

Com o aumento dos preços do petróleo, associado ao aumento acentuado da demanda por fontes de energia limpas e renováveis, foi criado um cenário bastante favorável para o etanol como um combustível alternativo à gasolina, por ser um combustível menos poluente e produzido de matérias-primas renováveis tais como a cana-de-açúcar. Atualmente, o Brasil ocupa o segundo lugar como o maior produtor mundial de etanol (BRASIL, 2016).

Quanto à produção de açúcar o país é responsável por mais da metade de todo o produto comercializado no mundo, devendo alcançar taxa média de aumento da produção de 3,25%, até 2018/19, e atingir 47,34 milhões de toneladas do produto, o que corresponde a um acréscimo de 14,6 milhões de toneladas em relação ao período 2007/2008. Para as exportações, o volume previsto para 2019 é de 32,6 milhões de toneladas (BRASIL, 2015).

O Nordeste Brasileiro é responsável por apenas 11% da produção nacional de cana-de-açúcar, em razão da má distribuição pluviométrica, bem como ausência ou manejos incorretos de adubação, sendo um dos desafios para que essa região possa aumentar sua participação na produção de cana-de-açúcar, de modo a atender a sua demanda interna ou mesmo avançar em suas exportações, é a adoção de técnicas objetivando suprir as exigências dos canaviais, principalmente a demanda hídrica e a nutricional. Face a ambas as situações, recomenda-se o uso da irrigação e a adubação visando ao aumento da produtividade de colmos (FREITAS et al., 2013).

Inman-Bamber e Smith (2005) analisaram os impactos da deficiência hídrica na produção de cana-de-açúcar e concluíram que a variabilidade temporal das condições hídricas do solo causada pela irregularidade das chuvas é, isoladamente, o fator que exerce maior peso na oscilação dos rendimentos agrônômicos da referida cultura agrícola. Teodoro et al. (2009), concluíram que a temperatura do ar na costa leste do Nordeste brasileiro é ideal para o cultivo da cana-de-açúcar mas a

precipitação pluviométrica, devido à má distribuição no tempo, prejudica o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de colmos.

Vários experimentos já comprovaram a rentabilidade do uso de adubação nitrogenada e potássica através da fertirrigação. Silva et al. (2014) avaliando o potencial produtivo da cana por vários ciclos, chegou a obter uma média de 126,04 tonelada de colmo por hectare, aplicando 220 kg ha⁻¹ de K₂O e 150 kg ha⁻¹ de N, e no segundo ciclo foram adicionados 150 kg N ha⁻¹ e 130 kg K₂O ha⁻¹, sendo toda a distribuição feita através da fertirrigação. Nas condições edafoclimáticas de Teresina, PI, Andrade Junior et al. (2012) avaliaram a resposta de níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar, concluíram que a máxima produtividade de colmos (207,4 Mg ha⁻¹) foi obtida com aplicação de 114,2 kg ha⁻¹ de N e 60,1 kg ha⁻¹ de K₂O. Porém, esses estudos não avaliaram a distribuição iônica em resposta a aplicação dos níveis de N e de K₂O.

No intuito de se obter parâmetros quanto ao desenvolvimento, crescimento e produção da cana-de-açúcar, a análise de crescimento torna-se primordial, visto que a mesma fornece informações inerentes ao crescimento geral e específico do ponto de vista morfológico da cana-de-açúcar, que por sua vez, reflete na produção. A análise de crescimento permite o estudo de diferentes variedades de uma cultura em diversos ambientes de produção (Oliveira et al., 2005).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento vegetativo e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar cultivada em um Argissolo em resposta a concentração dos íons NO₃⁻ e K⁺ aplicados via fertirrigação por gotejamento subsuperficial na microrregião de Teresina-PI.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no área Experimental da Embrapa Meio Norte, localizada no município de Teresina – PI, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude: 5° 5' 21" Sul, longitude: 42° 48' 6" e altitude de 70 m. A temperatura média do ar e precipitação média anual de 27,6 °C e 1.349 mm, respectivamente. (BASTOS e ANDRADE JÚNIOR 2013). O clima de Teresina, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) é C1sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado

no verão e uma concentração de 32,2% da evapotranspiração potencial no trimestre setembro – outubro – novembro (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005).

Foi utilizada a variedade de cana-de-açúcar RB 92579, ciclo de cana planta, recomendada para cultivo sob regime irrigado e com área de cultivo representativa na microrregião de Teresina. O plantio ocorreu no dia 06/06/2014, em espaçamento de fileira duplas (0,5 m entre fileiras de plantas e 2,0 m entre fileiras duplas) (Figura 1), mantendo-se 15 gemas por metro linear. O preparo do solo constou de uma aração e uma gradagem.

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, com dois metros entre linhas gotejadoras (gotejadores a cada 0,60 m, vazão de 2,3 L/h a uma pressão de 200 kPa), enterradas a 0,25 m de profundidade, no centro das fileiras duplas de plantas (Figura 1).

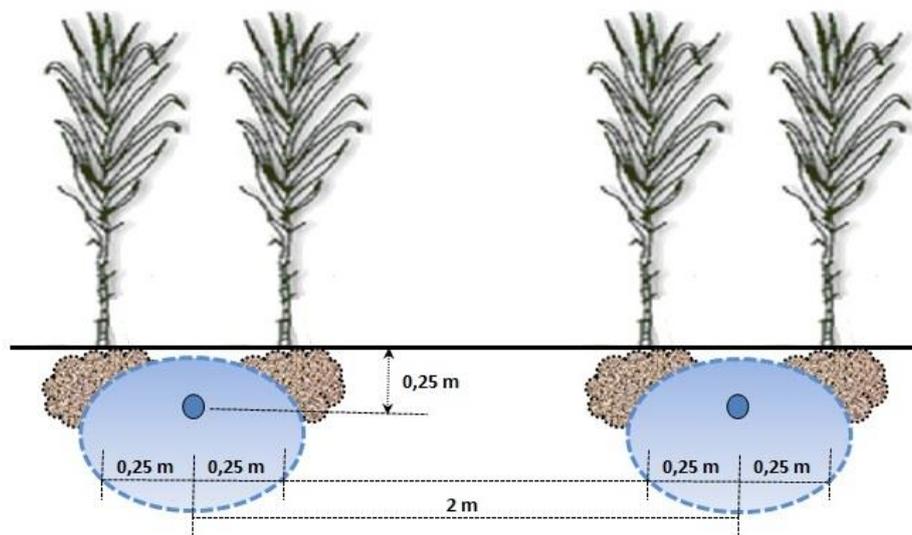


Figura 1 Detalhe do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial

O solo da área experimental é um Argissolo vermelho amarelo distrófico - PVAD, textura média (Melo et al. 2014), cuja caracterização química e físico-hídrica é apresentada na Tabela 1.

Foram avaliados cinco tratamentos, compostos por diferentes formulações de N (ureia) e de K_2O (cloreto de potássio) (T1: 60 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de K_2O ; T2: 180 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de K_2O ; T3: 120 kg ha^{-1} de N + 60 kg ha^{-1} de K_2O ; T4: 120 kg ha^{-1} de N + 180 kg ha^{-1} de K_2O e T5: 120 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de K_2O), os quais foram aplicados via água de irrigação (fertirrigação). Usou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Para a avaliação da

distribuição dos íons NO_3^- e K^+ , os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, com as doses de N e de K_2O , nas parcelas, e as profundidades de avaliação das concentrações dos íons, nas subparcelas. As análises foram realizadas pelo software SAS (SAS INSTITUTE, 2014).

Tabela 1 Caracterização química e físico-hídrica do solo da área experimental. Embrapa Meio-Norte, Teresina – PI

Parâmetro	Profundidade (m)		
	0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6
pH em água	5,76	5,22	5,28
Fósforo (mg/dm^3)	16,21	13,56	12,77
Potássio (cmolc/dm^3)	0,23	0,07	0,12
Sódio (cmolc/dm^3)	0,02	0,02	0,04
Cálcio (cmolc/dm^3)	1,21	0,38	0,42
Magnésio (cmolc/dm^3)	0,69	0,11	0,10
Alumínio (cmolc/dm^3)	0,07	0,95	1,27
H+Al (cmolc/dm^3)	3,30	3,85	4,73
Nitrogênio (dag/kg)	0,06	0,03	0,03
Mat. Orgânica (dag/kg)	1,39	0,77	0,65
CTC	5,43	4,40	5,37
Areia (g/kg)	609,60	626,00	573,30
Silte (g/kg)	278,90	225,30	245,70
Argila (g/kg)	111,50	148,70	181,00
Classificação textural	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa
CC (m^3/m^3)	0,245	0,245	0,268
PMP (m^3/m^3)	0,055	0,082	0,125
Densidade do solo (Mg/m^3)	1,434	1,603	1,577

CC: capacidade de campo (6 kPa); PMP: ponto de murcha permanente (1.500 kPa)

A fertirrigação foi iniciada 60 dias após o plantio e teve duração de seis meses (agosto de 2014 a janeiro de 2015), em uma frequência de três vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira). A aplicação dos tratamentos ao longo do ciclo de cultivo foi parcelada seguindo a distribuição percentual apresentada na Figura 2. A aplicação do fósforo (100 kg/ha de P_2O_5), na forma de fosfato monoamônico (MAP) e micronutrientes (ácido bórico = 4,5 kg/ha; óxido de zinco = 7 kg/ha; óxido de cobre = 6 kg/ha; óxido de manganês = 11 kg/ha e molibdato de sódio = 1 kg/ha) foi uniforme em todos os tratamentos e dividida em aplicações mensais.

A Figura 2 apresenta o parcelamento (%) das doses de nitrogênio (N) e potássio (K_2O) ao longo do ciclo de cultivo. A aplicação dos níveis de N e K_2O foi

efetuada por meio de fertirrigação, com uso de injetor hidráulico de deslocamento positivo (bomba TMB). O controle de água para administração das lâminas de irrigação e para os níveis de N e K_2O , foi efetuado por registros hidráulicos instalados em cavaletes nas entradas de cada uma das parcelas. A lâmina de irrigação aplicada foi monitorada por um hidrômetro localizado na casa de bomba.

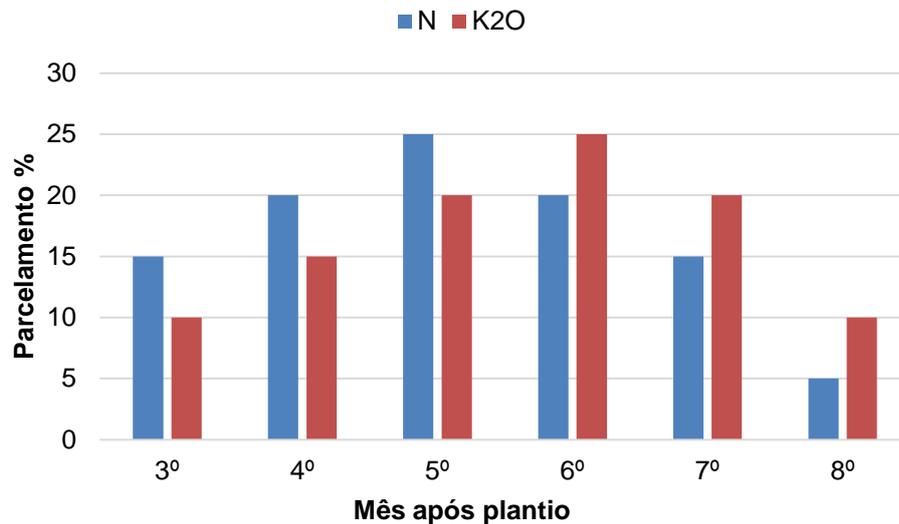


Figura 2 Parcelamento (%) das doses de nitrogênio (N) e potássio (K_2O) ao longo do ciclo de cultivo

As parcelas mediam 60 m^2 de área e eram compostas por três fileiras duplas de 10 m de comprimento, com 0,5 m entre fileiras de plantas e 2,0 m entre fileiras duplas. A área útil da parcela foi formada por duas fileiras de plantas, de onde foram retiradas as amostras de solo para quantificação da concentração dos íons NO_3^- e K^+ no solo, nas profundidades 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m. A bordadura entre parcelas foi simples (uma fileira duplas de plantas), de onde foram coletadas as plantas para as análises biométricas bimestrais. A lâmina de irrigação foi uniforme para todos os tratamentos e aplicada com base na evapotranspiração da cultura (ETc). Para tanto, usou-se a evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman – Monteith, em escala de tempo diária, utilizando dados climáticos de estação meteorológica do INMET instalada na Embrapa Meio-Norte, e coeficientes de cultivo determinados na região (Nolêto, 2015). A frequência de aplicação da irrigação foi às segundas, quartas e sextas-feiras, da seguinte forma: na segunda-feira, aplicou-se a ETc acumulada de sexta, sábado e domingo; na quarta-feira, aplicou-se a ETc acumulada de segunda e terça-feira e na sexta-feira, aplicou-se a ETc acumulada de quarta e quinta-feira. Para mensuração da precipitação instalou-se um pluviômetro

na área experimental, cujas leituras eram sempre aferidas de segunda à sexta-feira às 7:30 horas.

No monitoramento da umidade do solo, fator importante para disponibilidade dos íons NO_3^- e K^+ foi utilizado a sonda de capacitância Diviner, sendo as leituras de frequência relativa (FR) aferidas após a aplicação da lâmina. O conteúdo de água no solo nas profundidades 0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m foi calculado pela médias dos valores de umidade durante o ciclo da cana. Quanto aos valores de frequência relativa, os mesmos foram convertidos em água no solo (m^3) por meio da seguinte equação:

$$\theta_v = aFR^b$$

Em que:

θ_v = Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

FR = Frequência relativa determinada pela sonda adimensional;

a, b = Coeficientes gerados pela regressão (Silva et al., 2006).

O acompanhamento do crescimento morfofisiológico da cultura, foi iniciado 98 (noventa e oito) dias após plantio, e repetido por seis épocas (98, 131, 182, 223, 276 e 333 dias após plantio - DAP), através de medidas biométricas na modalidade destrutiva. De cada repetição dos tratamentos foi retirada uma planta para a referida análise. De cada avaliação foi quantificado o comprimento do colmo (com o uso de fita métrica), diâmetro do colmo (através de paquímetro digital), área foliar total (leituras realizadas no integralizador de área foliar) e matéria seca total, que corresponde ao peso do colmo, folha e bainha secos. Para as medidas dos elementos secos, os mesmos foram colocados numa estufa e submetidos à 65°C durante 48 (quarenta e oito) horas e sequencialmente, pesados.

Para determinação da produção final, toda a cana produzida foi cortada manualmente e pesadas imediatamente com o uso de uma grade, um trator e um dinamômetro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dados climáticos, evapotranspiração de referência e umidade do solo

Em relação à temperatura, um dos fatores decisivos tanto na evapotranspiração como na umidade do solo, a temperatura ideal para a cana-de-açúcar é de 30 a 34°C, se a temperatura estiver maior de 35°C o crescimento é lento, com menor de 20°C é muito lento e acima de 38°C é nulo (Freitas, 2007). Face à essa informação, pode-se dizer que com base nos registros de temperatura (Figura 3) que as mesmas foram favoráveis para o cultivo para a condução do experimento.

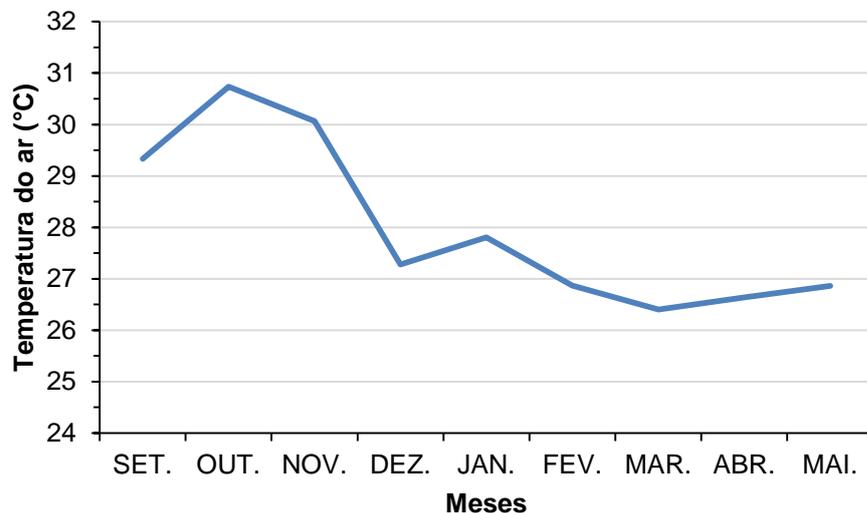


Figura 3 Temperatura média mensal

A Figura 4 refere-se ao acumulado da evapotranspiração da cultura (ETc), lâmina hídrica a qual foi aplicada, precipitação e o somatório da lâmina e precipitação, que resultou em toda a água que a cultura recebeu ao longo dos meses de observação.

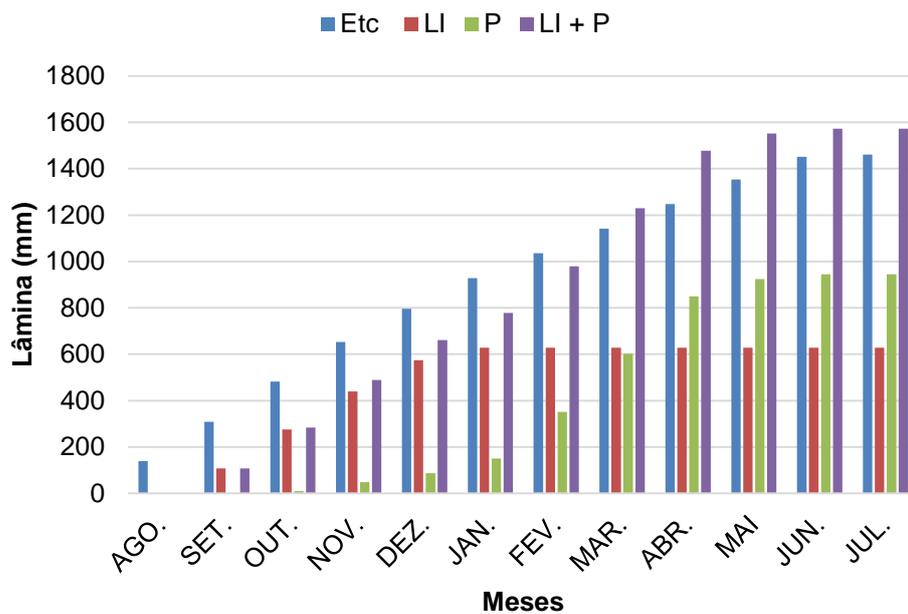


Figura 4 Registros cumulativos mensais de evapotranspiração da cultura (ETc), lâmina de irrigação aplicada (LI), precipitação (P) e somatório lâmina de irrigação + precipitação (LI + P). Teresina – PI, 2014-2015

O requerimento hídrico da cana-de-açúcar foi plenamente atendido pela aplicação das lâminas de irrigação mais a precipitação ocorrida durante o período experimental. As lâminas de irrigação totalizaram 627,78 mm, a precipitação registrada foi de 944 mm, o que totalizou 1.571,78 mm. A necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia de 1.500 a 2.500 milímetros, que devem ser distribuídos de maneira uniforme durante o período de desenvolvimento vegetativo. Estudos recentes têm mostrado que a quantidade de água necessária para a cultura atingir seu máximo potencial produtivo situa-se entre 1.200 a 1.300 milímetros (AGEITEC, 2016). Portanto, constata-se que durante o experimento a cultura foi plenamente atendida a sua necessidade hídrica, não se constituindo em fator limitante a expressão de seu máximo potencial produtivo.

Com relação ao conteúdo de água no solo, decorrente da aplicação das lâminas de irrigação e precipitação, houve gradativo incremento ao longo do ciclo de cultivo (Figura 5), justamente em resposta aos aumentos ocorridos nas lâminas de irrigação e precipitação (Figura 4). Esse comportamento é muito importante, já que a presença de água no solo é fator decisivo para os processos de solubilização e transporte dos íons solúveis em água aplicados com a prática da fertirrigação da cultura, assim como o conteúdo de água no solo, garante que a cultura não sofreu deficiência hídrica que pudesse afetar seu desenvolvimento e produtividade de

colmos. Benedeti (2014), investigando sobre a disponibilidade de nutrientes para a cana-de-açúcar, afirma que a manutenção da umidade do solo proporciona um ambiente mais adequado para a cana-de-açúcar e interfere positivamente nas liberações de nutrientes no sistema solo planta.

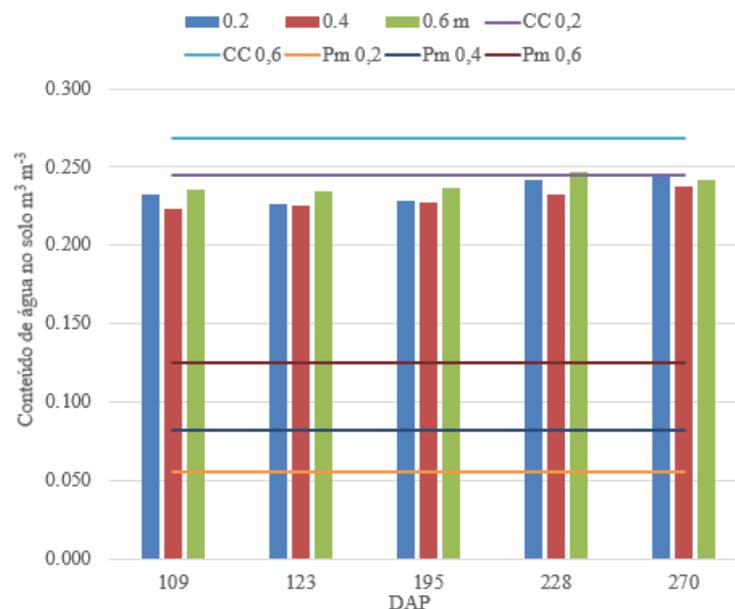


Figura 5 Variação do conteúdo de água no solo nas camadas de 0-0,2 m; 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m nos dias após plantio. Capacidade de campo e ponto de murcha permanente.

Os valores de conteúdo de água no solo variaram de 0,210 a 0,250 m³ m⁻³, muito próximos do limite superior de disponibilidade de água no solo (0,26 m³ m⁻³). Em termos de disponibilidade de água no solo, a variação da umidade foi de 63,6% a 75,2% da capacidade de água disponível (CAD) do solo. Isso significa que, nas três profundidades avaliadas, o solo sempre se manteve acima do valor estabelecido como adequado para a cana-de-açúcar (50% da CAD).

Esse comportamento é importante também para reforçar que a concentração dos íons NO₃⁻ e K⁺ na solução do solo deveu-se unicamente as doses de N e K₂O aplicadas e não foram influenciadas pelo fato do solo estar com conteúdo de água distinto nas camadas avaliadas. Contudo, O conteúdo de umidade tem sua importância para assegurar que a cultura não sofreu deficiência hídrica que pudesse afetar seu desenvolvimento e produtividade de colmos.

Na camada de 0,4-0,6 m ocorrem valores maiores quanto à umidade do solo (Figura 5). Tal fato é explicado pela textura mais argilosa do solo nessa camada (181 g/kg de argila) (Tabela 1), que favorece maior retenção de água.

3.2 Concentrações dos íons nitrato e potássio em resposta as doses de N e de K₂O

A distribuição acumulada das doses de N e K₂O de cada tratamento ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar é apresentada nas Figura 6 e 7. As quantidades de N e de K₂O aplicadas obedeceu ao parcelamento planejado (Figura 2) e a dose a ser aplicada em cada tratamento. Em se tratando de extração de nitrogênio, Oliveira et al. (2007) afirmam que para sistemas com produtividade de cana-de-açúcar superior a 120 t/ha de matéria natural, a quantidade de N absorvida pela cultura ultrapassa 180 kg ha⁻¹. Neste trabalho, contemplou-se na avaliação essa quantidade de fertilizante nitrogenado com a aplicação do tratamento 2.

Quanto à absorção de potássio, Coelho e Verlengia (1973), estudando sobre adubação potássica em cana-de-açúcar, afirmam que do nono ao décimo segundo mês, a absorção pelo referido nutriente é intensa. Estimam que 100 toneladas de colmos frescos extraem cerca de 133,4 kg de potássio. Observando a marcha de absorção do potássio em cana, Catani et al. (1959) levaram em consideração a concentração do nutriente no colmo, detectando maiores teores de K⁺ do sexto ao nono mês de cultivo, concluíram que para a demanda de K⁺ no período entre a metade do ciclo e o final, é necessário intensificar a distribuição do referido íon no período mencionado, de modo a atender a demanda da cultura. Essa foi a recomendação seguida no presente estudo.

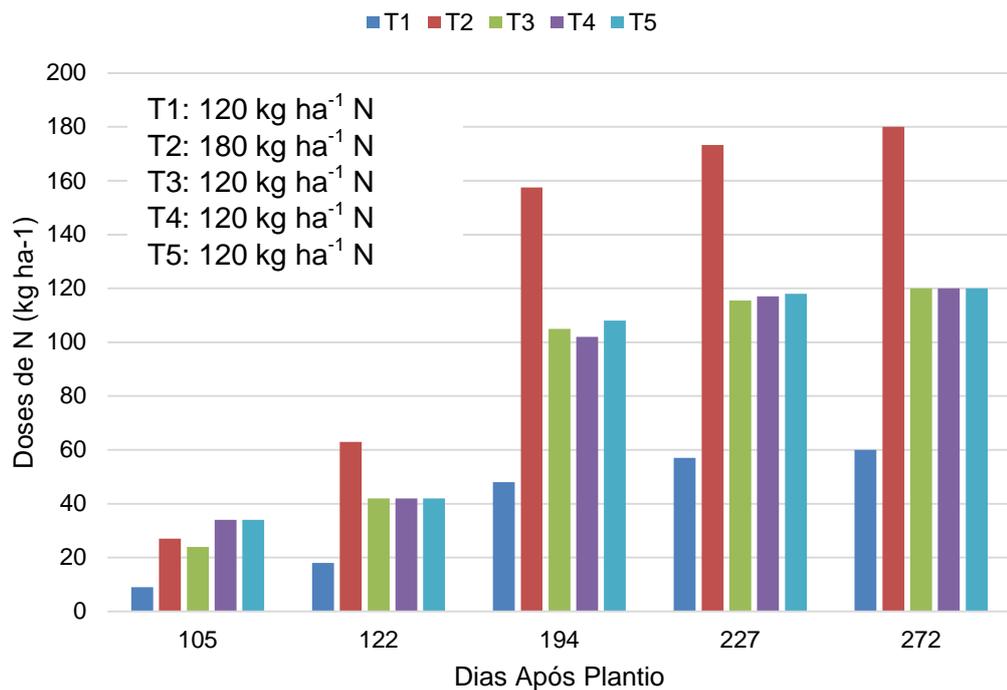


Figura 6 Distribuição acumulada de N de cada tratamento em dias após plantio (DAP) ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar. Teresina – PI, 2014-2015

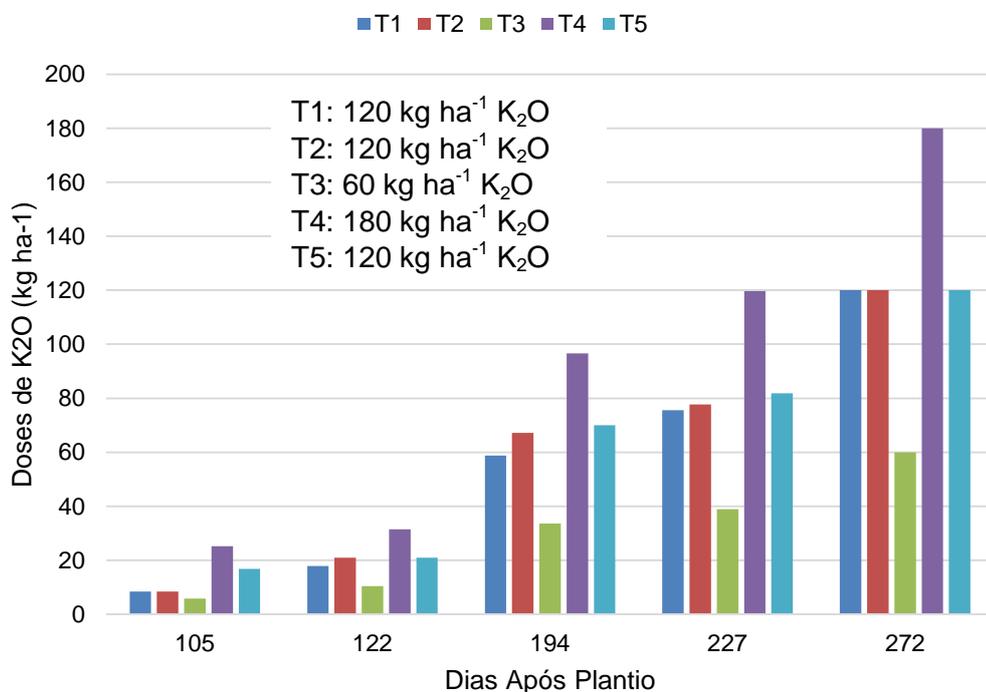


Figura 7 Distribuição acumulada de K₂O de cada tratamento em dias após plantio (DAP) ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar. Teresina – PI, 2014-2015

As médias de concentrações em resposta as doses de N e K_2O nas camadas 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 dos íons NO_3^- e K^+ nas seis épocas de amostragem são apresentadas nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

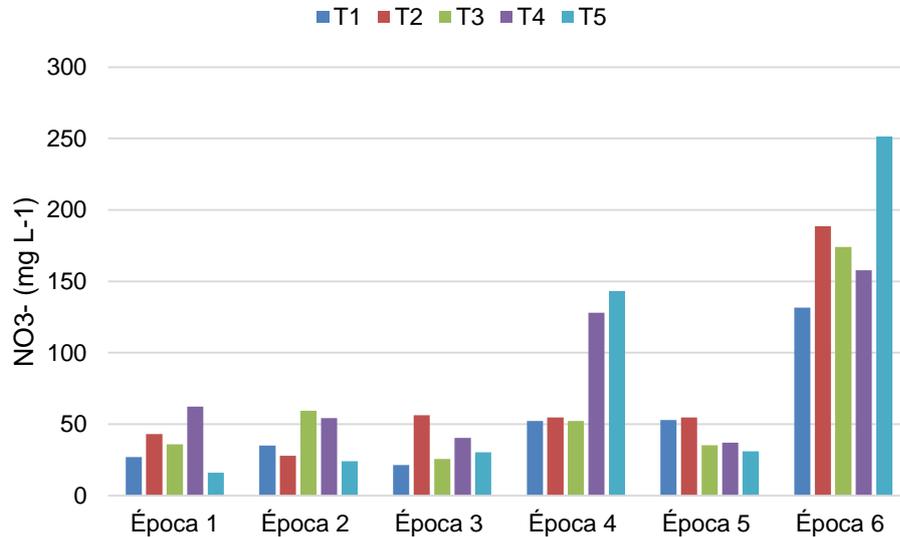


Figura 8 Médias de concentração do íon nitrato nas profundidades de 0,0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m em resposta as doses de N aplicadas, nas seis épocas de amostragem

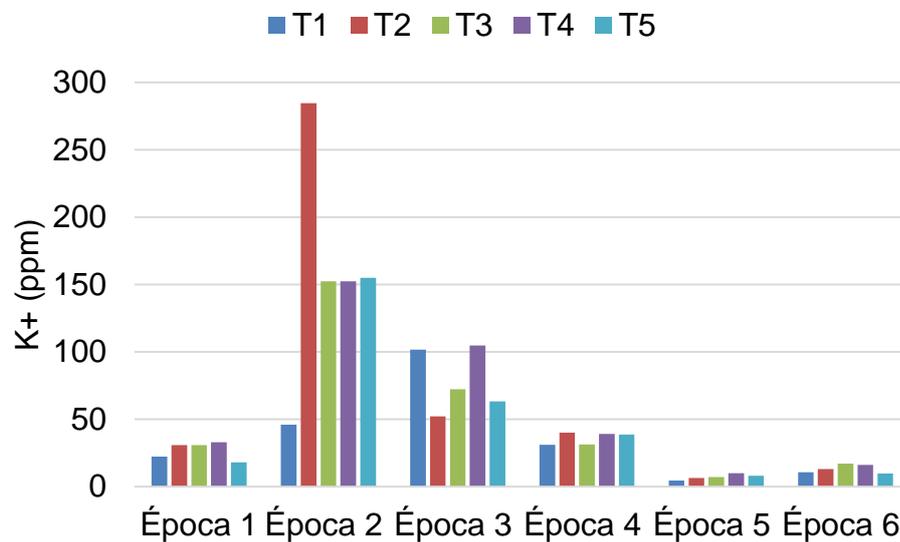


Figura 9 Médias de concentração do íon potássio nas profundidades de 0,0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m em resposta as doses de K_2O aplicadas, nas seis épocas de amostragem

Quanto a concentração de NO_3^- (Figura 8) maiores valores são encontrados a partir da época 4 (223 DAP), o que nos mostra a necessidade maior de NO_3^- nas fases iniciais de desenvolvimento da cana. Oliveira (2008), em conclusão de seu

estudo sobre dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar, afirma que a adubação com N deve ocorrer somente até os 120 dias após o plantio, por acreditar que após o período mencionado ocorre diminuição na demanda pelo referido íon.

Quanto a concentração do K^+ , a situação é inversa a de NO_3^- , valores maiores até a época 3 (182 DAP), mostrando a demanda maior de K^+ pela cana da metade para o final do seu ciclo vegetativo. Ratificando esse resultado Vitti et al. (2005) recomenda que antes do fechamento do dossel do canavial, seja feita adubação com elevados teores de K_2O em razão do seu alto consumo na reta final do ciclo. Essa variação na disponibilidade dos íons NO_3^- e K^+ no solo será responsável pela diferenciação biométrica ao longo do ciclo de cultivo.

3.3 Comprimento e diâmetro de colmo

A Tabela 2 apresenta o resumo da análise de variância quanto ao comprimento de colmo nas cinco épocas de análise de crescimento que correspondem aos 131, 182, 223, 276 e 333 dias após plantio (DAP).

Tabela 2 Resumo da análise de variância referente ao comprimento (cm) de colmo (CC) em cinco épocas em cultivo com cana-de-açúcar. Teresina-PI. 2014-2015.

FV	GL	Época 2	Época 3	Época 4
Bloco	3	272,21 ^{**}	499,58 ^{ns}	197,34 ^{ns}
Tratamentos	4	169,07 [*]	1326,62 ^{**}	513,42 ^{ns}
Erro	12	438,68	1914,80	2532,53
CV %		11,64	9,64	7,28
FV	GL	Época 5	Época 6	
Bloco	3	64,22 ^{ns}	871,41 ^{ns}	
Tratamentos	4	1091,50 [*]	521,42 ^{ns}	
Erro	12	3068,25	3041,90	
CV %		6,05	5,37	

ns: Não significativo ($p > 0,05$), *: Significativo ($0,05 \geq p > 0,01$), **: Significativo ($p \leq 0,01$)

O grau de precisão do experimento, que é representado pelo coeficiente de variação (CV), de acordo com a classificação de Pimentel Gomes (1985), os resultados de comprimento de colmo variam entre “ótimo” à “bom”. É válido ressaltar que em razão da época 1 desta variável terem sido obtidos valores muito baixos, em razão do estágio inicial da cana-de-açúcar, como mostra a Figura 10, a análise de variância compreende somente a partir da época 2 (131 DAP) findando na época 6 (333 DAP).

A Tabela 3 apresenta o resumo da análise de variância quanto ao comprimento de colmo nas cinco épocas de análise de crescimento que correspondem aos 131, 182, 223, 276 e 333 dias após plantio (DAP).

Tabela 3 Resumo da análise de variância referente ao diâmetro de colmo (mm) (DC) em cinco épocas em cultivo com cana-de-açúcar. Teresina-PI. 2014-2015

FV	GL	Época 2	Época 3	Época 4
Bloco	3	14,87**	23,20 ^{ns}	11,37*
Tratamentos	4	9,77 ^{ns}	1,71 ^{ns}	19,44**
Erro	12	4,06	11,57	3,32
CV %		7,89	12,35	6,59
FV	GL	Época 5	Época 6	
Bloco	3	4,08 ^{ns}	5,44 ^{ns}	
Tratamentos	4	5,11 ^{ns}	8,83 ^{ns}	
Erro	12	5,91	5,43	
CV %		7,88	7,24	

ns: Não significativo ($p > 0.05$), *: Significativo ($0,05 \geq p > 0.01$), **: Significativo ($p \leq 0,01$)

Não houve significância dentre os tratamentos para a variável diâmetro de colmo, exceto na época 4, a ser apresentado o diferimento estatístico na Figura 11. É comum na literatura trabalhos afirmando a ausência de desenvolvimento significativo para a citada variável, como exemplo, resultados obtidos por Flores et al. (2012), avaliando a aplicação de diferentes doses de potássio (0;32,5; 65,0; 130,0 e 195,0 kg ha⁻¹ de K₂O) em cana-de-açúcar, que verificaram que a aplicação de potássio não alterou o número de perfilhos e diâmetro de colmo da soqueira de cana-de-açúcar; entretanto, aumentou o comprimento, o qual atingiu maior valor (2,79 m) com 195,0 kg ha⁻¹ de K₂O.

As Figuras 10 e 11 representam respectivamente o teste de médias do comprimento e diâmetro do colmo ao longo das épocas em estudo. O comprimento do colmo (Figura 10) aumentou com o avanço da época de avaliação em todos os tratamentos, em especial os tratamentos 2 e 4, que receberam maiores doses de N e K₂O (Figuras 6 e 7), respectivamente, ao longo do ciclo da cultura, e apresentaram os maiores valores biométricos (3,10 e 3,04 m, respectivamente) na época final (333 DAP), ratificando a relação de proporcionalidade de aplicação dos íons NO₃⁻ e K⁺.

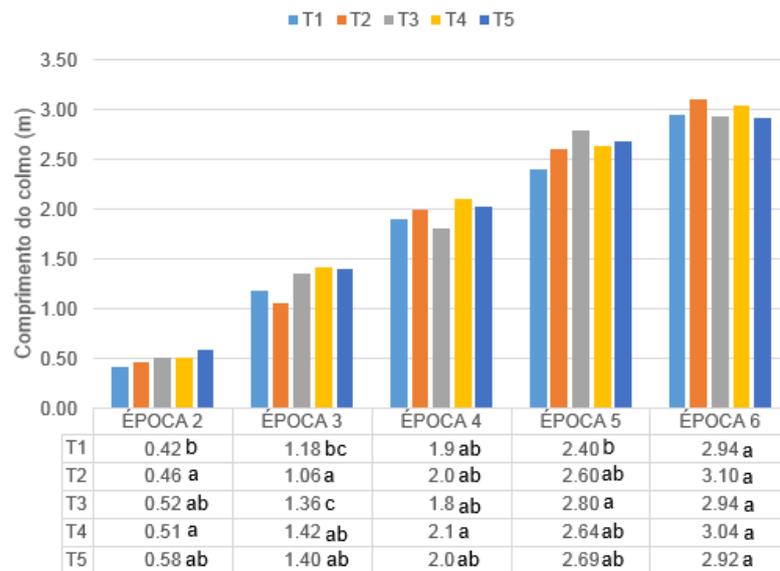


Figura 10 Comprimento do colmo em resposta as concentrações de NO_3^- e K^+ nas seis épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

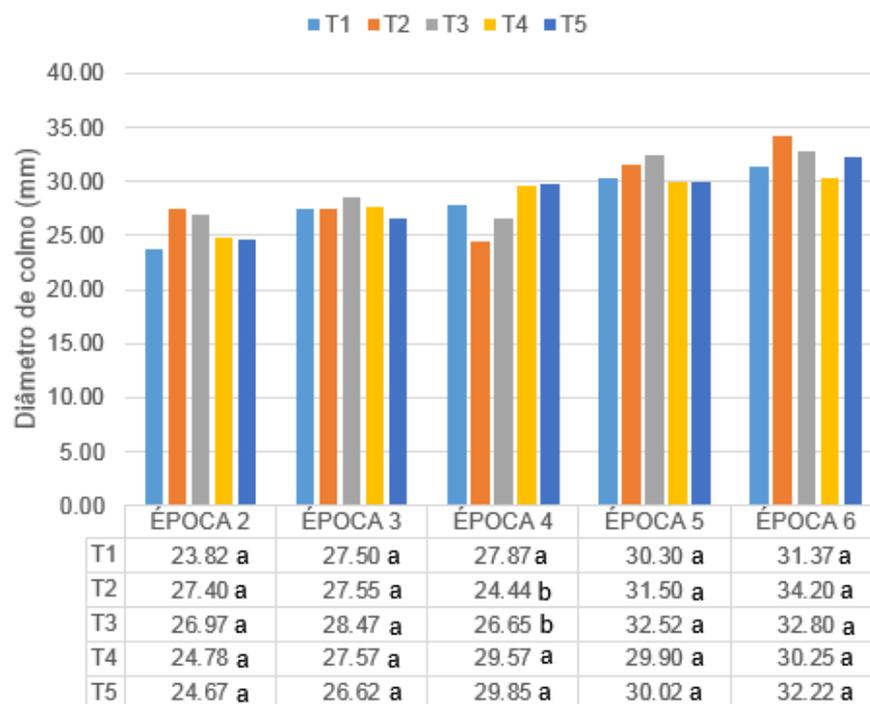


Figura 11 Diâmetro do colmo em resposta as concentrações de NO_3^- e K^+ nas seis épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

A resposta em relação ao cumprimento do colmo pode ser explicada não só pela aplicação dos íons mas também pela concentração dos mesmos no solo. O tratamento 2 por exemplo resultou em maiores valores de NO_3^- na solução do solo na época 3 e 5, permanecendo com valor expressivo na época 6. Já o tratamento 4, obteve as maiores concentrações em quatro (1,3,4 e 5) das seis épocas de avaliação

Quanto ao diâmetro do colmo, a referida variável apresentou aumento com o avanço das épocas de avaliação, não havendo diferenças expressivas entre os tratamentos, excetuando a época 4, onde o tratamento 1 diferiu-se dos tratamentos 2 e 3 assim como para os tratamentos 1, 4 e 5 se diferenciaram dos demais. Para essa variável, o tratamento 3 mostrou-se com maiores valores nas épocas 3 e 5, porém, concentrações maiores de NO_3^- e K^+ no solo foram detectadas apenas na época 2 e 6, respectivamente.

Neste caso, pode-se observar que o fator época é crucial quanto à aplicação de N e que nem todas as variáveis da cana-de-açúcar respondem em sintonia proporcional a concentração iônica presente no solo. Para ratificar esse comportamento, Korndorfer et al. (2002) em seu trabalho com adubação de nitrogênio em cana-de-açúcar afirma que a adubação nitrogenada se destaca como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para as culturas de maneira geral e para a cultura da cana-de-açúcar, é preciso atenção especial, pois os estudos sobre N apresentam resultados muito variáveis e muitas vezes até contraditórios.

Braga et al. (2010) analisando o crescimento da cana-de-açúcar sob diferentes níveis de fertirrigação potássica puderam ver que o comprimento do colmo apresentou comportamento sempre crescente. No entanto, ao contrário do que era esperado não apresentou diferença expressiva entre os tratamentos fertirrigados, diferenciando-se apenas os tratamentos da testemunha. Estes mesmos autores, analisando o diâmetro do colmo na época final, obtiveram como maior medida desta variável valores de 29,00 mm, com a aplicação da maior dose de K (133 kg ha^{-1}), enquanto este trabalho, foi encontrado valores superiores (34,20 mm) aplicando-se apenas 120 ha^{-1} de K_2O , ressaltando que foi com essa dose que se obteve a maior concentração cumulativa de K^+ no solo (854 ppm).

A maior aplicação de nitrogênio (tratamento 2) fez com que a variedade em estudo nesse trabalho, respondesse de forma proporcional no tocante ao diâmetro

do colmo, tendo sua maior concentração de (566 mg L^{-1}) aos 333 DAP. Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho realizado por Marcelo (2014), pesquisando sob efeitos de ureia como fonte de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivar SP79-1011, onde teve como resultado o efeito positivo somente para o comprimento de colmo. Para o trabalho deste autor, Bocardo (1998) cita que o efeito positivo apenas do comprimento de colmo, deve-se ao fato de que esta, é uma característica intrínseca de cada cultivar. Neto et al. (2006), analisando a resposta de aplicação de lâminas e adubação com nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar, resultou em sua pesquisa ganho considerável tanto no comprimento quanto no diâmetro de colmo.

Uchôa et al. (2009), avaliando a resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de K_2O (0; 80; 160; 240 e 320 kg ha^{-1}), obtiveram valores menores, mesmo aplicando doses de valores mais elevados, onde obtiveram valores máximo de 25,1 mm (variedades SP80-1816 e RB867515) e 2,61m (variedade RB867515) m para diâmetro e comprimento de colmo respectivamente.

Trabalho semelhante a este, correlacionando as doses aplicadas, concentrações de íons no solo e o reflexo dessa concentração foi desenvolvido por Flores et al. (2012), avaliando a aplicação de diferentes doses de potássio (0;32,5; 65,0; 130,0 e $195,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O) em cana-de-açúcar, que verificaram que a aplicação de K_2O incrementou o teor do íon potássio (K^+) no solo nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m de profundidade, atingindo, na maior dose de potássio aplicada, concentrações de K^+ da ordem de $0,173 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e $0,121 \text{ cmolc dm}^{-3}$, respectivamente. concluíram que a aplicação de potássio não alterou o número de perfilhos e diâmetro de colmos da soqueira de cana-de-açúcar; entretanto, aumentou o comprimento, o qual atingiu maior valor (2,79 m) com $195,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O .

Utilizando cinco doses de N (0; 50; 100; 150 e 200 kg ha^{-1}) na avaliação de resposta da cultivar de cana-de-açúcar SP 79-1011, em um Latossolo Vermelho distrófico, Prado & Pancelli (2008) também encontraram como valores máximos, valores inferiores, se comparados aos deste trabalho quanto à diâmetro e comprimento de colmo, resultantes em 11,6 mm (150 kg ha^{-1}) e 2,48 m (100; 150 e 200 kg ha^{-1}), respectivamente. Os autores atribuíram as respostas possivelmente à maior precipitação pluviométrica que pode ter elevado as perdas de N no sistema solo-planta, resultando em volatilização e/ou lixiviação.

3.4 Matéria seca total e área foliar total

Na Tabela 4 é apresentado o resumo da análise de variância quanto à matéria seca total das seis épocas de observação. Houve diferença estatística dentre os tratamentos. O teste de médias (Figura 12), a ser apresentado posteriormente, mostra na íntegra essas diferenças.

Tabela 4 Resumo da análise de variância para a matéria seca total (MSTem g) em seis épocas de amostragem durante o cultivo com cana-de-açúcar. Teresina – PI. 2014-2015

FV	GL	Época 1	Época 2	Época 3
Bloco	3	36,49 ^{ns}	788,22 ^{ns}	7728,61 ^{**}
Tratamentos	4	62,34 ^{**}	1901,82 [*]	6203,91 [*]
Erro	12	148,55	3618,40	17024,12
CV %		13,55	16,66	14,25
FV	GL	Época 4	Época 5	Época 6
Bloco	3	20537,46 ^{**}	25842,89 [*]	16344,80 ^{ns}
Tratamentos	4	11669,95 ^{**}	21278,57 [*]	48749,94 ^{**}
Erro	12	23422,44	65194,20	76507,48
CV %		10,51	11,13	10,78

ns: Não significativo ($p > 0.05$), *: Significativo ($0,05 \geq p > 0.01$), **: Significativo ($p \leq 0,01$)

A matéria seca total, que é a soma do peso da bainha, folha e colmo secos, sempre se manteve crescente até a época 6 (seis, 333 DAP) (Figura 12), porém, há um crescimento acelerado do tratamento 2 a partir da época 3 (três, 182 DAP), no atingindo o maior valor na época 6, chegando a 0,9 kg. O tratamento 1 (um), que sua dose de potássio foi o dobro de nitrogênio, teve sua concentração crescente de K^+ (67, 138 e 305 ppm) no solo até a época 3 (182 DAP), diminuindo sua concentração a partir desse momento em razão do maior consumo da cana por K, como dito anteriormente.

Verificou-se pelo teste de médias que os tratamentos 2 e 4 foram os que diferiram com mais frequência ao longo das épocas, ratificando a discussão quanto à resposta das doses, visto que os tratamentos mencionados foram os que receberam as maiores doses de N e K_2O , respectivamente. Resultados opostos à esses, foram encontrados por Dalri e Cruz (2008) em produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada, com N (120, 150 kg ha⁻¹) e K (120,180 kg ha⁻¹). Neste estudo a variável matéria seca não apresentou diferença estatísticas de 5% de probabilidade.

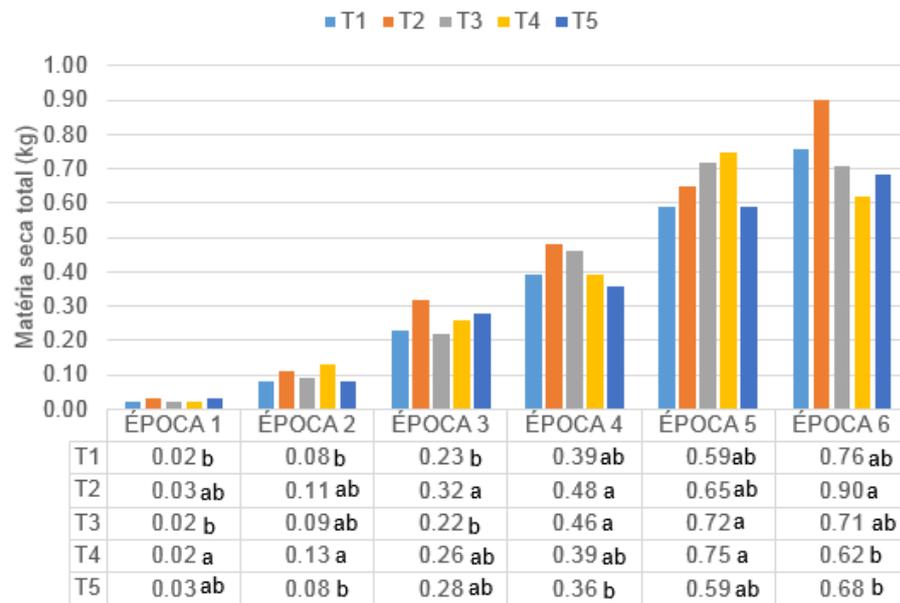


Figura 12 Matéria seca total em resposta as concentrações de NO_3^- e K^+ nas seis épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

A Tabelas 5 traz a análise de variância quanto a variável área foliar total.

Tabela 5 Resumo da análise de variância para a área foliar total (AFT) em seis épocas de amostragem durante o cultivo com cana-de-açúcar. Teresina – PI. 2014-2015

FV	GL	Época 1	Época 2	Época 3
Bloco	3	234580,82*	536864,65**	489626,07 ^{ns}
Tratamentos	4	56032,8876 ^{ns}	420683,36**	123812,485 ^{ns}
Erro	12	246568,04	1381366,13	4683931,55
CV %		12,20	12,68	17,30
FV	GL	Época 4	Época 5	Época 6
Bloco	3	5266450,38**	2885704,36*	3162230,81**
Tratamentos	4	1121004,78 ^{ns}	1933095,507 ^{ns}	2094647,29**
Erro	12	7482295,45	9066388,59	4033143,01
CV %		16,38	13,34	14,10

ns: Não significativo ($p > 0.05$), *: Significativo ($0,05 \geq p > 0.01$), **: Significativo ($p \leq 0,01$)

Ao contrário das demais variáveis em estudos, na análise de variância da área foliar total, não há diferença significativa entre os tratamentos, excetuando os da época 2 e 6. O teste de médias (Figura 13) confirma a inexistência de diferença estatística entre os tratamentos nas épocas 1, 3, 4 e 5. Barbosa et al (2012) analisando o comportamento da cana-de-açúcar sob fertirrigação com NPK, encontraram diferença estatística dentre os tratamentos quanto a área foliar total. Porém, tiveram como fonte de N adubo mineral e como fonte de K_2O a vinhaça, mantendo a modalidade de adubação que foi através da fertirrigação.

Ainda se tratando de AFT, contrária das demais variáveis em estudo, os tratamentos que apresentaram maiores concentrações de NO_3^- e K^+ , não apresentaram em nenhuma das épocas valores proporcionais.

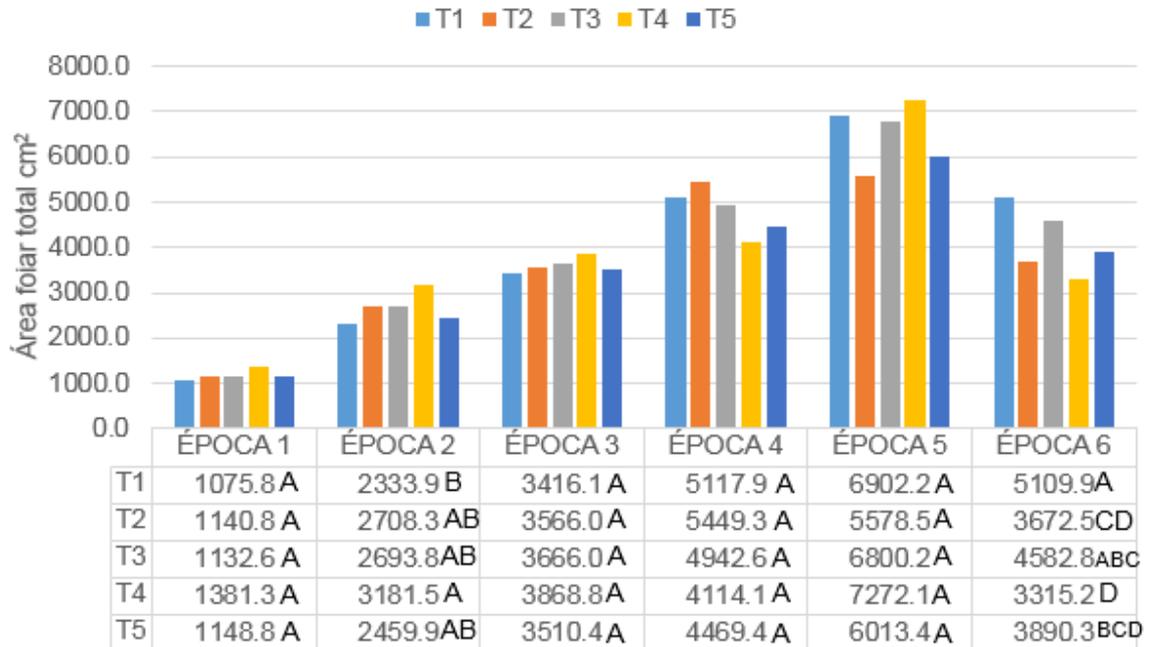


Figura 13 Área foliar total em resposta as concentrações de NO_3^- e K^+ nas seis épocas de amostragem. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Após o pico de crescimento da área foliar, é perceptível um declínio entre a época 5 e 6 (momento próximo da colheita). Tal fato dá-se por uma circunstância fisiológica da cana-de-açúcar, pois este momento representa o estágio em que a planta entra na fase de maior senescência foliar.

A tabela 6 traz a correlação entre as variáveis CC, DC, AFT, MST com as concentrações de NO_3^- e K^+ no solo.

Tabela 6 Correlação de Pearson entre CC, DC, AFT, MST com concentrações de NO_3^- e K^+ no solo com o cultivo de cana-de-açúcar. Teresina – PI. 2014-2015.

ÉPOCA 2						
	CC	DC	AFT	MST	NO_3^-	K^+
CC	-----	-0,18*	0,40 ^{ns}	0,56*	0,02 ^{ns}	0,57*
DC	-0,18 ^{ns}	-----	0,42 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,25 ^{ns}
AFT	0,40 ^{ns}	0,42 ^{ns}	-----	0,88*	0,23 ^{ns}	0,31 ^{ns}
MST	0,56*	0,32 ^{ns}	0,88*	-----	0,30 ^{ns}	0,41 ^{ns}
NO_3^-	0,02 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-----	-0,16 ^{ns}
K^+	0,57*	0,25 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,41 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-----
ÉPOCA 6						
	CC	DC	AFT	MST	NO_3^-	K^+
CC	-----	0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,62*	0,09 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
DC	0,03 ^{ns}	-----	-0,25 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,19 ^{ns}
AFT	0,06 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-----	0,37 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
MST	0,62*	0,30 ^{ns}	0,37 ^{ns}	-----	-0,22 ^{ns}	-0,07 ^{ns}
NO_3^-	0,09 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-----	0,21 ^{ns}
K^+	-0,11 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-----

ns: Não significativo ($p > 0,05$), *: Significativo ($0,05 \geq p > 0,01$), **: Significativo ($p \leq 0,01$)

As épocas 2 e 6 foram as épocas adotadas para análise de correlação por representarem a consolidação do desenvolvimento vegetativo e o final do ciclo, respectivamente. Para fins de classificação das correlações, teve-se como base a classificação de Callegari-Jacques (2003, p. 90).

Na época 2, existe uma “forte correlação” entre área foliar total e matéria seca total, ou seja, correlação significativa ($P < 0,05$) positiva entre as citadas variáveis, ocorrendo o mesmo entre comprimento de colmo e MST, porém, com “correlação moderada”. No tocante à correlações com os íons do referido estudo, houve uma correlação direta e significativa ($P < 0,05$) entre a presença de K^+ no solo e o CC com nível de significância a 1%, sendo “correlação moderada”. Já na época 6, houve correlação significativa e positiva apenas entre CC e MST, sendo correlação positiva “forte”.

3.5 Produtividade de colmos

A Tabela 7 traz a análise de variância quanto a produtividade colmos. Há diferença estatística entre os tratamentos, mostrando que há efeito das doses de N e de K₂O aplicadas e por sua vez suas concentrações no solo. Para detectar a diferença estatística na íntegra, observemos a tabela 9, que trata do teste múltiplo de médias a 5% de probabilidade.

Tabela 7 Análise de variância referente a tonelada de colmo por hectare em cultivo com cana-de-açúcar. Teresina-PI. 2014-2015

FV	GL	SQ	QM	Pr>F
Bloco	3	1849,61	616,53	0,02*
Tratamento	4	1918,81	479,70	0,04*
Erro	12	1708,53	142,38	
Total	19	5476,99		

CV: 6,93. ns: Não significativo ($P > 0,05$), *: Significativo ($0,05 \geq P > 0,01$), **: Significativo ($P \leq 0,01$)

As Figuras 14 e 15 apresentam o somatório dos íons NO₃⁻ e K⁺, nas profundidades de 0-0,2,0,2-0,4 e 0,4-0,6, em todas as épocas de amostragem, que é o que refletirá na produção da cana, mais específico, em TCH.

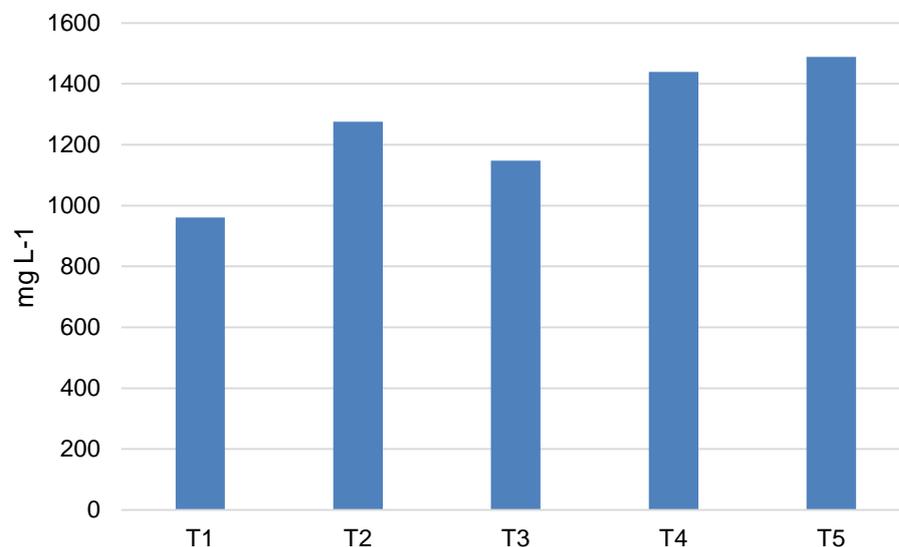


Figura 14 Somatório do íon NO₃⁻ das profundidades 0-0,2,0,2-0,4 e 0,4-0,6 de todas as épocas de amostragem

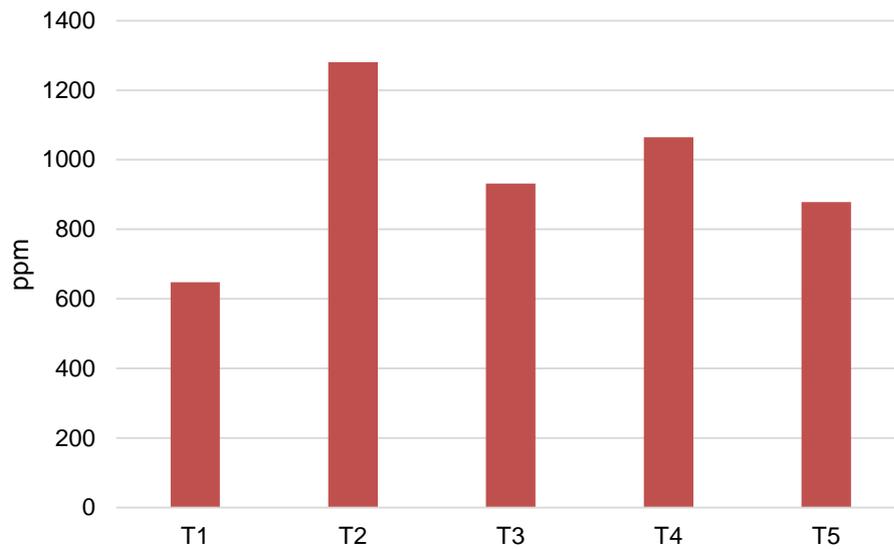


Figura 15 Somatório do íon K⁺ das profundidades 0-0,2,0,2-0,4 e 0,4-0,6 de todas as épocas de amostragem

O tratamento 2 e 5 mostraram-se maiores concentrações de K⁺ e NO₃⁻ respectivamente, sendo que para que se obtivesse essas concentrações iônicas, foi aplicado 120 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente.

Tabela 9 Teste de médias referente à tonelada de colmo por hectare - TCH em cultivo com cana-de-açúcar. Teresina – PI. 2014-2015

TRATAMENTO (N/K kg/ha ⁻¹)	MÉDIA
1 (60/120)	186,93 a
2 (180/120)	166,50 ab
3 (120/60)	179,52 ab
4 (120/180)	166,87 ab
5 (120/120)	160,01 b

Somente os tratamentos 1 e 5 diferiram estatisticamente entre si. A combinação de N e K₂O que resultou em maior rendimento de colmo por hectare (186.93 t ha⁻¹) foi a dose de 60/120, respectivamente, ou seja, não foram as maiores doses. Resultados divergentes foram encontrados por Dalri & Cruz (2008) que obtiveram 190,01 t ha⁻¹ aplicando a maior dose (180 kg ha⁻¹ de N + 180 kg ha⁻¹ de K₂O) trabalhando com produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial.

Analisando o teste múltiplo de médias, pode-se perceber que aplicações maiores de N e K₂O não necessariamente equivalem à maiores rendimentos. Esse raciocínio é ratificado por Teixeira (2005), pesquisando sobre adubação nitrogenada

e potássica em cana-soca com várias doses de N e K₂O (0, 50, 100 kg, 150 kg, 200 kg, 250 kg, 100 (parcelado) e 100 kg ha⁻¹ 60 após colheita), onde concluiu que a aplicação de N a partir de 50 kg ha⁻¹ em dose única proporciona maior ganho de produtividade agrícola, enquanto a dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O não obtiveram resposta com os tratamentos em TCH.

4 CONCLUSÕES

O comprimento e diâmetro de colmo responderam de forma positiva às concentrações de NO_3^- e K^+ no solo.

Para a matéria seca total (MST), maior concentração de K^+ (377 ppm) resultou em maiores valores de MST (0,9 kg).

Não houve variação sensível quanto a área foliar total.

As maiores TCH ($186,93 \text{ t ha}^{-1}$) foram obtidas pelo tratamento 1 (60 kg ha^{-1} de N + 120 kg ha^{-1} de K_2O) que atingiu concentrações iônicas totais no solo de 961 mg L^{-1} de NO_3^- e 648 ppm de K^+ .

5 REFERÊNCIAS

BRASIL. Agência Embrapa de informação tecnológica (AGEITEC). **Exigências climáticas da cana de açúcar**. Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_10_711200516716.html>. Acesso em: 23 fev. 2016.

_____. Federação Nacional de Petróleo (FNP). **Brasil: 2º maior produtor de etanol**. Disponível em: <<http://informaecon-fnp.com/noticia/3885>>. Acesso em: 03 jan. 2016.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Culturas. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em 03 dez. 2015.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O. da; GOMES, A. A. N. Classificação climática e regionalização do semiárido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 143-151, maio/ago. 2005.

ANDRADE JÚNIOR et al. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 76-84, 2012.

BARBOSA, Eduardo A. et al. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola** v. 16, n. 9, p. 952-958, 2012.

BASTOS, E.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Boletim Agrometeorológico de 2012 para o Município de Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, p. 18, Documentos 228. 2013.

BOCARDI, M.R. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio, aplicadas nas formas fluida e sólida, em soqueiras de cana-de-açúcar (*Saccharum sós.*). 1998. **Dissertação (Mestrado)** Universidade federal de Lavras. Lavras-MG.

BRAGA, D. L. et al. **Crescimento da cana-de-açúcar (1ª soca) sob diferentes níveis de fertirrigação potássica**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2010.

CALLEGARI-JACQUES, Sidia M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

CATANI, R. A. et al. A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e silício pela cana de açúcar, Co 419, e o seu crescimento em função da idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 16, p. 167-190, 1959.

COELHO, F.S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384p.

- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.
- FLORES, Rilner Alves et al. Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 106-111, 2012
- FRANCO, H. C. J. et al. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. especial, p.2763-2770, 2008.
- FREITAS, C. A. et al. Efluente de esgoto doméstico tratado e reutilizado como fonte hídrica alternativa para a produção de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. v. 17, n. 7, p. 727-734, 2013.
- MELO F. de B.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; PESSOA, B. L. de O. **Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, p. 14, 2014. Documentos 231.
- Nolêto, Donavam Holanda. **Coeficiente de cultura e demanda hídrica da cana-de-açúcar na microrregião de Teresina, Piauí**. Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2015, Fortaleza-CE
- INMAN-BAMBER, N.G., SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Cross Ressarce**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.
- KORNDÖRFER, G.H. et al. Desempenho de variedades de Cana-de-Açúcar cultivadas com e sem Nitrogênio. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB)**, Piracicaba, v. 20, p. 28-31, 2002.
- OLIVEIRA, E. C. A. de. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2008.
- MARCELO, D. do N. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar, cultivar SP 79-1011. 2014. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG.
- OLIVEIRA, R.A. et al. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: Taxas de crescimento. **Sentia Agraria**, v. 6, p. 85-89, 2005.
- OLIVEIRA, M. W. et al. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007.
- PRADO, R. de M.; PANCELLI, M. A. Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantina**, v. 67, n. 4, p. 951-959, 2008.

SAS INSTITUTE. **SAS® 9.2 Software**. Carey, 2014. Disponível em: <<http://support.sas.com/software/92/>>. Acesso em: 04 fev. 2014.

SILVA, C.R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MELO, F.B.; SOUSA, A.B.; SOUZA, C.F. Calibração da sonda de capacitância Diviner 2000® em um Argissolo. **XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 2006 João Pessoa, PB, Resumos Expandidos.

SILVA, C. T. S. et al. Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica-DOI: 10.7127/rbai. v3n100012. **Revista Brasileira De Agricultura Irrigada-Rbai**, v. 3, n. 1, 2013.

SILVA, M. de A. et al. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 241-249, 2014.

TEODORO, I. et al. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB)**. v. 27, n. 4, p.46 – 49, 2009.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. 86 p. (Policación in Climatology, v. 8, n. 1).

UCHÔA, S. C. P. et al. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 4, p. 505-513, 2009.

VITTI, G. C. et al. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Bebedouro: [s.n.], p. 15-18, 2005.