Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Eficiência nutricional e densidade radicular de oito variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento

Nathália Lopes Ribeiro

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2016

Nathália Lopes Ribeiro
Bacharel em Agronomia

Eficiência nutricional e densidade radicular de oito variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr**. RUBENS DUARTE COELHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Ribeiro, Nathália Lopes
Eficiência nutricional e densidade radicular de oito variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento / Nathália Lopes Ribeiro. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.
88 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Saccharum* spp. 2. Déficit hídrico 3. Coeficiente de utilização biológica 4. Nutrientes 5. Raiz I. Título

CDD 633.61
R484e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e pela benção de poder vivê-la.

À minha família, pelo amor e apoio dedicado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho, por acreditar e confiar em mim e no meu trabalho. Pela paciência e ensinamentos.

À meu namorado, sua fé e sua calma me inspiram.

Ao meu cunhado Renato, que tanto colaborou com meu experimento.

Aos meus amigos e colegas de pós-graduação, pela parceria, apoio e risadas compartilhadas.

Ao Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, meu eterno orientador. Agradeço por ter iniciado a construção da minha carreira ao seu lado, tendo o senhor como um exemplo de professor e pesquisador para sempre me recordar e em quem me espelhar.

À todos os professores do departamento que tanto contribuíram para minha formação.

À todos os funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, sempre solícitos a ajudar quando necessário. Em especial a secretária do programa, Dalvimar, pela paciência e dedicação.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas ESALQ/USP, pela oportunidade de fazer parte desta equipe.

À banca de qualificação, Prof. Sergio Nascimento Duarte, Prof. Tarlei Arriel Botrel e Prof. Rafael Otto pela colaboração e recomendações.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e à Empresa Odebrecht Agroindustrial, que através do Projeto PITE 2012/50083-7 disponibilizaram os recursos financeiros necessários para a realização deste projeto de pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta participaram dessa fase da minha vida, ajudando, orientando ou mesmo aconselhando.

"Um aluno, um professor, um livro e um lápis podem mudar o mundo."
Malala Yousafzai

SUMÁRIO

RESUMO 9
ABSTRACT 11
1 INTRODUÇÃO GERAL 13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15
2.1 A cultura da cana-de-açúcar 15
2.2 Irrigação na cana-de-açúcar 16
2.3 Eficiência nutricional e acúmulo de nutrientes 17
2.4 Sistema radicular da cana-planta 18
REFERÊNCIAS 21
3 EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM OITO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADAS VIA GOTEJAMENTO 27
Resumo 27
Abstract 27
3.1 Introdução 28
3.2 Material e métodos 30
3.3 Resultados e discussão 41
3.4 Conclusões 57
REFERÊNCIAS 58
4 DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE PRIMEIRA SOQUEIRA DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADAS VIA GOTEJAMENTO 60
Resumo 60
Abstract 60
4.1 Introdução 61
4.2 Material e métodos 62
4.3 Resultados e discussão 72
4.4 Conclusões 78
REFERÊNCIAS 79
ANEXOS 82

RESUMO

Eficiência nutricional e densidade radicular de oito variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento

A cana-de-açúcar requer uma condição hídrica ideal e uma condição de nutrição adequada para seu desenvolvimento pleno, visando atingir um nível de produtividade economicamente viável. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de quatro lâminas de irrigação em oito variedades de cana-de-açúcar, com análise das variáveis relacionadas à eficiência nutricional e acúmulo de nutrientes por unidade de área na cana-planta, e, relação raiz:parte aérea, densidade radicular e massa de raiz por unidade de área na cana-soca, para cada situação. Foram conduzidos dois experimentos, um no ciclo da cana-planta e o outro na cana-soca. A pesquisa foi realizada na área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), localizado na Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (ESALQ/USP), em Piracicaba – SP, conduzido em casa de vegetação composta por três vãos conjugados, com área total de 400 m^2, a cultura foi conduzida em solo da série "Sertãozinho, que é um Latossolo Vermelho Amarelo de textura franco-arenosa. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com três blocos completos com parcelas subdivididas. No experimento 1, foram estudados dois fatores, quatro níveis de irrigação por gotejamento superficial ao longo do ciclo (75*, 100, 75 e 50% da demanda hídrica potencial) e oito variedades comerciais de cana-de-açúcar, (CTC 15, CTC 17, RB 867515, RB 92579, RB 931011, RB 966928, IAC 5000 e NCO 376). No experimento 2, parcelas sub-subdivididas, foram estudados três fatores, quatro níveis de irrigação por gotejamento superficial ao longo do ciclo, oito variedades comerciais de cana-de-açúcar e quatro épocas de coleta. No experimento 1 todos os nutrientes tiveram maior quantidade alocada no colmo e caldo. A variedade CTC 15 acumulou maior quantidade de nutriente, foi mais eficiente no rendimento bruto de açúcar e na formação de biomassa na parte aérea, enquanto a variedade RB 966928 foi mais eficiente na produção de açúcares totais recuperáveis e sacarose aparente. A lâmina de irrigação de 100% proporcionou maior acúmulo de nutrientes na parte aérea, já as lâminas de 50 e 75*% promoveram maior eficiência na utilização dos nutrientes pela cana-de-açúcar. No experimento 2, a variedade RB 867515 obteve maior produção de biomassa e densidade radicular ao final do ciclo e consequentemente maior relação raiz parte aérea. A camada de 0-20 cm apresentou maior concentração de raiz e a lâmina de 50% proporcionou maior produção de raiz.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; Déficit hídrico; Coeficiente de utilização biológica; Nutrientes; Raiz.

ABSTRACT

Nutritional efficiency and root density of eight varieties of sugarcane submitted to drip irrigation

The sugarcane requires optimal water conditions and adequate nutrition condition for their full development , aiming to achieve an economically viable level producton level. The objective of this study was to evaluate the effect of four irrigation levels in eight varieties of sugarcane, with analysis of the variables related to nutritional efficiency and accumulation of nutrients per unit area in the sugarcane plant, and root relationship: shoot, root density and root mass per unit area in the cane ratoon, for each situation. Two experiments, one in the cycle of the plant cane and the other in cane ratoon were conducted. The survey was conducted in the experimental area of the Department of Biosystems Engineering (LEB), located in the School of Agriculture "Luiz de Queiroz" (ESALQ / USP), in Piracicaba - SP, conducted in the greenhouse consists of three adjoining spans, with total area of 400 m^2, the culture was conducted in soil series "Sertãozinho", which is a Yellow Oxisol sandy loam texture. The experimental design was a randomized complete block design with three complete block design with split-plots. In experiment 1, were studied two factors, four levels of irrigation by surface drip over the cycle (75 *, 100, 75 and 50% of potential water demand) and eight commercial varieties of sugarcane (CTC 15, CTC 17, RB 867515, RB 92579, RB 931011, RB 966928, IAC 5000 and NCO 376). In experiment 2, sub-divided plots were studied three factors, four levels of subsurface drip irrigated throughout the cycle, eight commercial varieties of sugarcane and four samplings. In experiment 1 all the nutrients had higher amount allocated in the stem and broth. The variety CTC 15 accumulated higher amount of nutrient, was more efficient in gross yield of sugar and the formation of biomass in the shoot, while the variety RB 966928 was more efficient in the production of total recoverable sugars and apparent sucrose. The 100% water depth showed higher nutrient accumulation in the shoot, since the irrigation levels of 50 and 75*% promoted more efficient use of nutrients by sugarcane. In experiment 2, the variety RB 867515 obtained higher biomass and root density at the end of the cycle and consequently higher ratio root shoots. The 0-20 cm showed higher concentration of root and the irrigation levels of 50% the highest yield of root.

Keywords: *Saccharum* spp.; Deficit water; Biological utilization coefficient; Nutrients. Root

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) têm atraído atenção internacional por ser uma alternativa sustentável à substituição de combustíveis fósseis, mundialmente, ocupa 26,9 milhões de hectares (FNP, 2014), que compreende apenas 0,5% dos 5 bilhões de hectares cultivados no mundo (FAO, 2013). A cultura é cultivada predominantemente na zona tropical do planeta, nos países em desenvolvimento da América Latina, da África e do Sudeste Asiático.

A safra de 2015/2016 teve 8.654,2 mil hectares de cultivo em todo território brasileiro, 3,9% a mais comparada com a safra 2014/2015. Em que, o Estado de São Paulo cultivou área de 4.498,3 mil hectares. A produção total brasileira foi de 665,6 milhões de toneladas, enquanto a paulista foi de 365,58 milhões de toneladas. Com produtividade média no território nacional de 76,91 t ha^{-1}, e para o Estado de São Paulo de 81,71 t ha^{-1} (CONAB, 2016). O Brasil desponta como líder mundial nas exportações de açúcar e na utilização da cana como fonte de energia renovável, principalmente pela crescente participação dos veículos bicombustíveis na frota automotiva brasileira (COSTA, 2009).

A disponibilidade de água no solo e a temperatura do ambiente são fatores que afetam o crescimento da cultura. Segundo Inman-Bamber (2004), temperaturas elevadas aumentam a evapotranspiração em plantas bem supridas com água, mas em plantas sob estresse hídrico, causam redução na área foliar e no crescimento dos perfilhos, além de estimular a senescência das folhas. De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), a necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo e o manejo da irrigação deveria ser feito de acordo com as fases fenológicas de cada variedade.

Os benefícios da irrigação para minimizar o déficit hídrico na cultura da cana-de-açúcar podem ser divididos em benefícios diretos e indiretos. Segundo Matioli (1998), os benefícios diretos consistem no aumento de produtividade agrícola e na longevidade das soqueiras, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados à redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados pelo aumento de produtividade, tais como: dispensa de arrendamentos, plantio desses arrendamentos dispensados, os tratos culturais dos arrendamentos dispensados e com transporte, se os arrendamentos dispensados forem mais distantes da unidade industrial que a área irrigada. Smit e Singels (2006) afirmam que mais pesquisas são necessárias para entender claramente os mecanismos de resposta da cultura ao estresse hídrico.

A cana-de-açúcar requer como qualquer outra cultura de exploração comercial, não só uma condição hídrica ideal como também uma condição de nutrição adequada para seu desenvolvimento, na medida em que necessita aumentar em peso e em volume para alcançar uma maturação economicamente viável.

Estudos avançados confirmam que os nutrientes devem ser fornecidos via adubação, e que as quantidades devem ser suficientes para que a reposição de nutrientes no solo disponibilize quantidades satisfatórias para que a planta extraia a quantidade necessária para formação das suas diferentes estruturas, como folhas e colmos. O sistema de irrigação é uma ferramenta para a distribuição dos nutrientes em quantidades ideais em cada fase da cultura, e também proporciona a utilização de adubações com frequência diária O estado nutricional da cana influencia, dentre outros, as taxas fotossintéticas e o metabolismo da sacarose (MEINZER e ZHU, 1998) tendo, portanto, efeitos na produtividade, longevidade e lucratividade do canavial (MALAVOLTA et al., 1997; DEMATTÊ, 2004).

O estudo do sistema radicular, por ser muito trabalhoso, tem sido relegado a um plano secundário, apesar de sua importância. Os principais fatores para que isso ocorra são as grandes variabilidades de condições físicas, químicas e biológicas do solo, as quais influenciam na distribuição das raízes. A dinâmica do desenvolvimento radicular está relacionada a fatores primordiais que estão relacionados à produtividade final da cultura, sendo eles: tolerância a seca, capacidade de brotação, porte da planta (ereto ou decumbente), tolerância a movimentação de máquinas, eficiência na absorção de nutrientes, tolerância ao ataque de pragas, dentre outras. Esses fatores estão relacionados com a distribuição do sistema radicular no perfil do solo ao longo das estações do ano que tem intima interação com o ambiente de produção (VASCONCELOS & MIRANDA, 2006).

Este estudo tem por hipótese que, para cada variedade de cana-de-açúcar existe uma combinação mais adequada para o nível de irrigação a ser adotado, de modo a maximizar a eficiência nutricional e o acúmulo de nutrientes por unidade de área para cana-planta. Informações sobre as relações massa seca radicular / massa seca aérea, densidade radicular no solo e massa de raiz / ha para cana-soca são apresentadas como referências.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de quatro lâminas de irrigação em oito variedades de cana-de-açúcar, com análise das variáveis relacionadas à eficiência nutricional e acúmulo de nutrientes por unidade de área na cana-planta, e, relação raiz: parte aérea, densidade radicular e massa de raiz por unidade de área na cana-soca, para cada situação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

Durante sua fase de crescimento a cultura da cana-de-açúcar necessita de grandes quantidades de água para suprir as suas necessidades hídricas, uma vez que somente 30% de seu peso é representado pela matéria seca e, 70% pela água. Sua capacidade em absorver água pelas folhas é maior do que em qualquer outra planta de sua família. No entanto, são as raízes, através dos seus pelos absorventes, as responsáveis pela maior quantidade de absorção de água. (SILVA, 2012).

A cana-de-açúcar comercialmente plantada (*Saccharum* spp.) é um híbrido interespecífico (WRIGLEY, 1982), sendo que o gênero *Saccharum* é constituído por seis espécies: *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. sinense*, *S. barberi* e *S. edule* (PURSEGLOVE, 1979). O centro de origem da cana-de-açúcar não é uma unanimidade entre os pesquisadores, e de forma geral, as regiões da Ásia são as mais citadas como prováveis centro de origem (RIPOLI et al., 2007).

Considerada uma planta de metabolismo fotossintético C4, apresenta elevada taxa de eficiência na conversão de energia radiante em energia química (TAIZ & ZEIGER, 2004). No entanto, essa eficiência é altamente dependente das condições edafoclimáticas e nutricionais da planta. Adaptada a uma larga faixa de latitude (35º N a 35º S), requer algumas condições para seu pleno desenvolvimento, tais como temperaturas elevadas (até 35ºC) e deficiência hídrica anual de 250 mm na fase de maturação.

O ciclo evolutivo para o cultivo agrícola da cultura pode ser de 12 (cana de ano) e 18 meses (cana de ano e meio) em cana-planta. Após o primeiro corte, o ciclo passa a ser de 12 meses, e a partir do primeiro corte passa a ser denominada de cana-soca. Os fatores ambientais que afetam de maneira significativa a produção da cana-de-açúcar são temperatura, luz, disponibilidade de água e nutrientes no solo (ALFONSI et al., 1987).

Considerado como a principal fonte de matéria-prima para a fabricação de açúcar e de álcool, o colmo da cana-de-açúcar é a parte da planta de maior importância econômica atualmente, como é constituído basicamente de: fibra (10 a 12%), composta por celulose, hemicelulose e lignina, e o caldo (82 a 90%), com 75 a 82% de água e 18 a 25% de sólidos solúveis. Dos sólidos solúveis, 1 a 2% são não-açúcares (sais inorgânicos e orgânicos) e o restante os açúcares redutores totais, sendo 14 a 24% sacarose, 0,2 a 1,0% glicose e 0,0 a 0,5% frutose (LAVANHOLI, 2008).

Devido ao seu potencial energético a cana-de-açúcar vem despertando interesse econômico, podendo ser utilizada para geração de energia elétrica (bioeletricidade) e, num contexto de futuro mais atual, o etanol de segunda geração (etanol celulósico) (MASCHIO, 2011).

2.2 Irrigação na cana-de-aúcar

O consumo anual de água pela cana-de-açúcar varia entre 1.500 e 2.500 mm (DOOREMBOS; KASSAM, 1979), já o consumo diário de água pela cultura varia entre 2 e 6 mm dia^{-1}, considerando diferentes regiões produtoras do país, variedade, estágio de desenvolvimento da cultura e demanda evapotranspirométrica em função do mês e da região (variação temporal e espacial) (BERNARDO, 2006). O mesmo autor cita também, que para o cultivo irrigado de cana-de-açúcar é importante definir os estágios fenológicos a fim de otimizar a eficiência de aplicação da irrigação, sendo eles: germinação e emergência; perfilhamento e estabelecimento da cultura; desenvolvimento da cultura; e maturação.

No estado de São Paulo, onde se observa a maior área plantada do país, praticamente toda a cana produzida é cultivada em condições de sequeiro, isto é, sem o emprego da técnica de irrigação. A tradição do cultivo de cana de sequeiro é alicerçada no paradigma de que a irrigação de cana-de-açúcar é economicamente inviável nas condições edafoclimáticas do estado de São Paulo (FRIZZONE et al., 2001).

O rendimento e a produção de açúcar e de etanol da cana-de-açúcar irrigada dependem da quantidade de água aplicada, do manejo de irrigação combinado com a quantidade certa de adubação, da variedade, da idade do corte, do tipo de solo e do clima (DANTAS NETO et al., 2006). O fornecimento de matéria-prima de qualidade tecnológica a fim de propiciar extração econômica é uma das maiores necessidades da indústria sucroalcooleira (LEITE et al., 2011). A carência hídrica da cana-de-açúcar varia também conforme o estágio vegetativo em que a cultura se encontra e a variedade utilizada sendo, assim, função da área foliar, do estágio fisiológico e da densidade radicular (DANTAS NETO et al., 2006).

Acredita-se que um déficit hídrico controlado possa ser adotado sem provocar reduções significativas no rendimento da cana-de-açúcar, tendo em vista que a cana-de-açúcar pode suportar certo grau de deficiência hídrica sem que ocorram prejuízos na produção de biomassa e acumulação de sacarose (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

Dessa forma, acredita-se que o manejo de irrigação adequado implica no conhecimento preciso da resposta da cultura ao déficit hídrico, o qual possibilita a identificação dos padrões

de crescimento da cana-de-açúcar, que por sua vez, permite selecionar variedades edafoclimaticamente adaptadas aos diferentes ambientes de produção e que sejam eficientes no uso da água (OLIVEIRA et al., 2010).

2.3 Eficiência nutricional e acúmulo de nutrientes

Mesmo que variedades de uma mesma espécie apresentem capacidades similares na absorção ou no acúmulo de um determinado nutriente, pode ocorrer grande diferença entre elas na produção de biomassa, resultante de diferenças na eficiência nutricional (EBERHARDT, 1999). A eficiência nutricional ocorre por várias razões, as quais estão relacionadas à absorção, ao transporte e à utilização dos nutrientes pela planta (MARSCHNER, 1995). Segundo Amaral (2002), as diferenças genotípicas envolvidas na nutrição mineral de plantas podem ser explicadas por características morfológicas e fisiológicas relacionadas à absorção de nutrientes. Dentre os aspectos morfológicos têm-se: o diâmetro e comprimento de raiz, a formação de pelos radiculares e a relação superfície de raiz/unidade de peso da parte aérea.

O estudo da eficiência nutricional na cultura da cana-de-açúcar é de extrema importância, pois os solos tropicais, em geral, possuem baixa capacidade de fornecimento dos nutrientes minerais às plantas. Fageria et al. (1982) e Martinez et al. (1993) observaram que a avaliação da eficiência nutricional pode levar à diferenciação de variedades, de modo que existe a possibilidade de selecionar variedades adaptadas a diferentes condições de fertilidade do solo. Do ponto de vista nutricional, um genótipo eficiente é aquele que cresce e produz em condições de baixo suprimento de nutrientes pelo solo, e assim, comparativamente a outras variedades, tem maior capacidade de absorver os nutrientes necessários e utilizá-los na produção de biomassa (FURLANI et al., 1984).

A eficiência nutricional pode ser calculada pelo coeficiente de utilização biológico (CUB), que consiste na razão entre a massa de matéria seca (MS) e o acúmulo de nutrientes (AN). Alternativamente, pode ser reescrito como o inverso do teor, ou seja: CUB = MS/AN, em que AN = Teor . MS, logo CUB = 1/Teor. Entretanto, segundo Siddiqi e Glass (1981), a relação de eficiência nutricional deve sempre estar relacionada com a produção, para não incorrer em erro de selecionar variedades com alta relação de eficiência nutricional e baixa produção. Para tanto, Siddiqi e Glass (1981) sugerem o índice de eficiência nutricional (EN) = MS/Teor, em que MS é a massa de matéria seca da planta e teor é a concentração do nutriente

na planta. Por outro lado, a seleção de variedades com elevada eficiência nutricional pode ser conduzida, considerando-se simultaneamente o índice CUB e a produção de matéria seca.

As variedades, o clima, o ciclo da cultura, o tipo de solo e a quantidade de fertilizantes aplicados são fatores importantes que influenciam na composição mineral da planta (FRANCO et al., 2007). A resposta a esses fatores tem sido observada por meio da análise de tecidos foliares, que constitui uma alternativa eficiente de avaliação nutricional da cana-de-açúcar (REIS JUNIOR ; MONNERAT, 2002).

Segundo Sediyama et al. (2009) estudos que avaliam o total de nutrientes removidos por unidade de área na colheita das culturas tem sido uma estratégia para determinar a quantidade necessária de fertilizantes a serem fornecidos nos ciclos subsequentes. Contudo, são limitadas as informações de pesquisa que avaliam as exigências nutricionais durante o desenvolvimento da cultura nas regiões produtoras, bem como o conhecimento do balanço nutricional nos canaviais (SOUZA et al., 2009). Deste modo, pesquisas que visem a quantificação e a alocação de nutrientes nos compartimentos da parte aérea da cana-de-açúcar, se fazem necessárias e fornecerão informações sobre a ciclagem de nutrientes nos canaviais, servindo como suporte para a agroindústria sulcroalcooleira, que poderá introduzir novos métodos e formas de adubação mais eficazes, com menos desperdício e economicamente mais viáveis (COLETI et al., 2006).

Apesar da importância do tema, poucos foram os trabalhos que avaliaram a extração e exportação de nutrientes em cana-de-açúcar, principalmente utilizando variedades recentemente disponibilizadas aos produtores (COLETI et al., 2006; PRADO et al., 2002).

2.4 Sistema radicular da cana-planta

A dinâmica do desenvolvimento radicular está relacionada a fatores primordiais que estão relacionados à produtividade final da cultura, sendo eles: tolerância a seca, capacidade de brotação, porte da planta (ereto ou decumbente), tolerância a movimentação de máquinas, eficiência na absorção de nutrientes, tolerância ao ataque de pragas, dentre outras. Esses fatores estão relacionados com a distribuição do sistema radicular no perfil do solo ao longo das estações do ano que tem intima interação com o ambiente de produção (VASCONCELOS & MIRANDA, 2006).

Segundo BACCHI (1983) após o corte da cana-planta, o sistema radicular antigo mantem-se ainda em atividade por algum tempo, período em que é substituído pelas raízes dos novos perfilhos da soqueira, sendo esse processo lento e gradual. As raízes da soqueira

são mais superficiais do que as da cana-planta pelo fato dos perfilhos das soqueiras brotarem mais próximo da superfície do que os da cana-planta. Pelo mesmo fato, quanto maior o número de cortes, mais superficial torna-se o sistema radicular das soqueiras.

O desenvolvimento do sistema radicular é típico de cada cultivar ou variedade, havendo crescimento acumulativo do crescimento radicular durante os ciclos da cultura da cana-planta para as socas sucessivas, sendo que a morte ou a renovação do sistema radicular não é causada pela colheita da cultura e sim pela deficiência hídrica, independente da fase de desenvolvimento (AGUIAR, 1978; VASCONCELOS, 2002). Já VASCONCELOS; GARCIA (2005) destacam que, além da influência genética e ambiental, a arquitetura do sistema radicular também sofre alterações em função da idade da planta, o que variar tanto entre ciclos de cultivo como dentro de um mesmo ciclo. Dessa forma, o sistema radicular da cana-planta explora mais intensamente as camadas mais superficiais do solo, se comparada à soqueira, que apresenta um incremento na exploração de subsuperfície.

A distribuição no perfil do solo das raízes de uma variedade determina grande parte da sua adaptação ao ambiente, tanto em relação às condições climáticas, como ao tipo de solo (VASCONCELOS et al., 2002; VASCONCELOS, 2002).

O conhecimento da distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar resulta numa melhor adequação das técnicas agronômicas, tais como, definição de espaçamento, local para aplicação dos fertilizantes e operações de cultivo, controle de erosão, drenagem e sistemas de irrigação, uso de culturas intercalares, entre outras (CASAGRANDE, 1991; ZONTA et al., 2006).

Koffler et al. (1986) destacam que a maioria dos sistemas radiculares da cultura da cana-de-açúcar no Brasil, vai até a profundidade de 0,6 m, enquanto que, nos Estados Unidos, a profundidade atingida pelas raízes chega a 2,0 m.

Segundo SCALOPPI (1986), o conhecimento da profundidade efetiva do sistema radicular permite a aplicação de lâminas de irrigação variáveis com o estágio da cultura. Desta forma, as informações sobre o sistema radicular auxiliam no cálculo da lâmina de irrigação mais adequada. Conforme MARTINS et al. (2007), a aplicação da água de irrigação em excesso pode acarretar a problemas de aeração do solo e à poluição de rios, lagos e lençol freático, devido à lixiviação de elementos tóxicos e nutrientes; por outro lado, em quantidade insuficiente pode resultar em estresse hídrico da cultura e afetar o crescimento e produção esperada das plantas. Desta maneira, o manejo adequado da água de irrigação é uma ferramenta fundamental na sustentabilidade do agroecossistema.

VASCONCELOS; CASAGRANDE (2008) salientam que a compreensão dos fenômenos ocorridos na parte aérea das plantas torna-se mais completa, quando se conhece o sistema radicular e sua distribuição no perfil do solo. DOURADO NETO; LOPES (1987) relatam que é importante a determinação da profundidade efetiva do sistema radicular em diferentes períodos de crescimento de uma cultura, visando avaliação de projetos de irrigação. Ainda, a eficiência de aplicação e de armazenamento de água no solo será maior quanto mais precisos e consistentes forem os parâmetros utilizados no planejamento e no manejo da água.

O estudo do sistema radicular apresenta-se, então, como um dos pilares para o entendimento das relações da água no sistema solo-planta-atmosfera, e, consequentemente, no manejo eficiente da irrigação. ATKINSON (2000) afirma que, das características mensuráveis das raízes, o comprimento da raiz relaciona-se com o potencial de absorção de água e nutrientes do solo, assim como a massa radicular relaciona-se com o estoque ou alocação total de material subterrâneo e dos nutrientes acumulados; e o volume radicular relaciona-se com o volume de solo ocupado pelas raízes. Com isso, deve-se considerar qual parâmetro é mais adequado para ser avaliado, em função do objetivo a ser estudado.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, S.F. **Observações sobre sistema radicular de cana-planta (Saccharum spp.).** Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, 'Júlio de Mesquita Filho" 1978. 24p.

ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas, 1987. p. 42-55.

AMARAL, J.F.T. **Eficiência de produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em variedades de café arábica**. 97p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

ATKINSON, D. Root characteristics: Why and what to measure. In: SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C. van NORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; van de GEIJN, S.C. (Ed.). **Root methods:** A handbook. Berlin, 2000. p. 1- 32.

BACCHI, O.O.S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasi**l. Piracicaba: IAA/Planalsucar, cap. 2, 1983. p. 24-37.
BERNARDO, S. Manejo da irrigação na cana-de-açúcar. **Alcoolbrás**, São Paulo, n. 106, p. 72-80, out. 2006.

CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 31-64.
CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D. & OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em argissolos, variedades RB83486 e SP81- 3250. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 24, n. 5, p. 32-36, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar:** Quarto levantamento. Brasília, 2016. p.1-14.

COSTA, C.T.S. **Crescimento, pigmentos fotossintéticos e produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), no quarto ciclo de cultivo**. 2009. 51p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2009.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C.H. de A.; AZEVEDO, H.M. de; AZEVEDO, C.A.V. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.283-288, 2006.

DEMATTÊ, J. L. I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. Visão agrícola, Piracicaba, v. 1, p. 48-59, 2004

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage, Paper, 33).

DOURADO NETO, D.; LOPES, J.C.M. Determinação da profundidade efetiva do sistema e da evapotranspiração média na cultura do milho. **ITEM-Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, ABID nº 30, p.21-23, setembro, 1987.

EBERHARDT, D.S.; SILVA, P.R.F.; RIEFFEL NETO, S.R. Eficiência de absorção e utilização de nitrogênio por plantas de arroz e de dois ecótipos de arroz vermelho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 17, p. 309-323, 1999.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação preliminar de variedades de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 1709-1712, 1982.

FAO. **Statistical yearbook 2013**: world food and agriculture. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-publications/ess-yearbook/en/#.VDwCm_ldV-4>. Acesso em: 01 ago. 2014.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. Cana-de-açúcar. In; _____. **AGRIANUAL 2014**: anuário estatístico da agricultura. São Paulo, 2014. p. 197-227.

FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C. O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 669-674, 2007.

FRIZZONE, J.A.; MATIOLI, C.S.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar para a região do norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1131-1137, 2001.

FURLANI, A.M.C.; CLARK, R.B.; MARANVILLE, J.W.; ROSS, W.M. Sorghum genotype differences in phosphorus uptake, phosphorus efficiency, phosphorus mobilization and utilization. **Journal Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 7, n.7, p. 1113-1126, 1984.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEARE, I.D.; PEET, M.M. (Ed.). **Crop-water relations.** New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

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

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

KOFFLER, N.F.; LIMA, J.F.W.F.; LACERDA, M.F.; SANTANA, J.F.; SILVA, M.A. **Caracterização edafo-climática das regiões canavieiras do Brasil**. Piracicaba: IAA PLANALSUCAR, 1986. 78p.

LAVANHOLI, M.G.D.P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 697-722.

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, Londrina, v.32, p.129-138, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A**. Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. 2. Ed. Piracicaba: ABPPF, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.R.; RODRIGUES, L.A. ; SACRAMENTO, L.V.S. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I. Cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n.2, p. 231-238, 1993.

MARTINS, C.C.; SOARES, A.A.; BUSATO, C.; REIS, E.F. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (Coffea arabica L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, n.2, p. 61-69, 2007.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 2011. 87p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MATIOLI, C.S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar (*Saccharum* ssp.) ciclo cana-soca:** um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo. 1998. 98p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MEINZER, F.C.; ZHU, J. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C4 CO_2 concentrating system, and therefore quantum yield, in Saccharum (sugarcane) species. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 49, n. 324, p. 1227-1234, 1998.

OLIVEIRA, E.C.A.; OLIVEIRA, R.I.; ANDRADE, B.M.T.; FREIRE, F.J.; JÚNIOR, M.A.L.; MACHADO P.R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambienta**l, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010.

PRADO, R. de M; FERNADES, F.M; NATALE, W. Calcário e Escória siderúrgica, avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 129-135, 2002.

PURSEGLOVE, J.W. **Tropical crops:** monocotyledons. London: Longman, 1979. 607p.
REIS JUNIOR., R.A; MONNERAT, P.H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes (RJ).**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 367-372, 2002.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDI, D.V.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar:** estado da arte. 2. ed. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007. 198p.

SCALOPPI, E.J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n. 139, p. 54 – 63, 1986.

SEDIYAMA, M.A.N.; SANTOS M.R; SALGADO L.T; PUIATTI M; VIDIGAL S.M. 2 et al. Produtividade e exportação de nutrientes por rizomas de taro cultivado com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 4, p. 421-425, 2009.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index; a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, J.P.N.; SILVA, M.R.N. **Noções da cultura da cana-de-açúcar**. Rede e-Tec Brasil. UFSM, 2012.105p. (Encarte técnico).

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, p. 91-97, 2006.

SOUZA, Z.M.; JÚNIOR, J.M.; PEREIRA, G. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 48-56, 2009.
TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

VASCONCELOS, A.C.M. O sistema radicular da cana-de-açúcar e a expressão do potencial de produção. **STAB – Açúcar e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 20, 2002.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A. Fisiologia do sistema radicular. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 79-97.

VASCONCELOS, A.C.M.; GARCIA, J.C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas,** Piracicaba n.110, 32 p. 2005.

VASCONCELOS, A.C.M.; MIRANDA, L.L.D. **Dinâmica do Desenvolvimento Radicular da Cana-de-Açúcar e implicações no Controle de Nematóides**. Americana, 2006. p. 7-8.
VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 97, 2002. 16 p.

WRIGLEY, G. **Tropical agriculture:** the development of production. 4th ed. New York: Longman, 1982. 496p.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.R.; ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed) **Nutrição mineral das plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.7-52.

3 EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM OITO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADAS VIA GOTEJAMENTO

Resumo

Dos principais fatores que limitam a produtividade dos canaviais brasileiros destacam-se a oferta de nutrientes dos solos e a disponibilidade hídrica. Nesse novo cenário de produção, o conhecimento das exigências minerais da cana-de-açúcar são informações fundamentais que podem direcionar a novos métodos e formas de adubação mais eficazes, com menos desperdícios e economicamente viáveis. Assim, este estudo teve por objetivo avaliar a alocação de nutrientes em cada parte da planta da cana-de-açúcar, a eficiência na utilização de nutrientes para a produção de sacarose aparente (pol), açúcares totais recuperáveis (ATR), biomassa seca da parte aérea (BSPA) e rendimento bruto de açúcar (RBA) em função de diferentes variedades e lâminas de irrigação. A pesquisa foi realizada na área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), localizado na Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (ESALQ/USP), em Piracicaba – SP, conduzido em casa de vegetação composta por três vãos conjugados, com área total de 400 m2, a cultura foi conduzida em solo da série "Sertãozinho, que é um Latossolo Vermelho Amarelo de textura franco-arenosa. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com três blocos completos com parcelas subdivididas, foram estudados dois fatores, quatro níveis de irrigação via gotejamento superficial ao longo do ciclo (75*, 100, 75 e 50% da demanda hídrica potencial) e oito variedades comerciais de cana-de-açúcar (CTC 15, CTC 17, RB 867515, RB 92579, RB 931011, RB 966928, IAC 5000 e NCO 376). Amostras de folha, bainha, ponteiro e colmo foram moídos e enviadas ao laboratório de análise vegetal para determinação de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, CU, Fe, Mn, Zn). De posse do teor de nutriente em cada parte, para cada parcela, e dados referentes a produção de BSPA, pol, ATR, e RBA, obteve-se o acúmulo de nutrientes na parte aérea, coeficiente de utilização biológica para produção de pol, ATR, BSPA e RBA De forma geral todos os nutrientes tiveram maior quantidade alocada no colmo e caldo. A variedade CTC 15 acumulou maior quantidade de nutriente, foi mais eficiente no RBA e formação de biomassa na parte aérea, enquanto a variedade RB 966928 foi mais eficiente na produção de ATR e Pol ha^{-1}. A lâmina de irrigação de 100% proporcionou maior acúmulo de nutrientes na parte aérea, já as lâminas de 50 e 75*% foram mais eficientes na utilização dos nutrientes.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.: Irrigação; Variedades; Coeficiente de utilização biológica

Abstract

The main factors that limit the productivity of Brazilian sugarcane plantations stand out the supply of nutrients from the soil and water availability. In this new production scenario, knowledge of the mineral requirements of sugarcane are fundamental information that can direct the new, more effective methods and forms of fertilization, with less waste, and economically viable. This study aims to evaluate the allocation of nutrients in each of the sugarcane plant, the efficient use of nutrients for the apparent sucrose production (pol), total recoverable sugars (TRS), dry biomass of the aerial part (DBAP) and gross yield of sugar (GYS) for different varieties and irrigation. The survey was conducted in the experimental area of the Department of Biosystems Engineering (LEB), located in the School of Agriculture "Luiz de Queiroz" (ESALQ / USP), in Piracicaba - SP, conducted in the greenhouse consists of three adjoining spans, with total area of 400 m^2, the culture was

conducted in soil series "Sertãozinho, which is a Yellow Oxisol sandy loam texture. The experimental design was a randomized complete block design with three complete blocks with split plots were studied two factors, four levels of irrigation by surface drip over the cycle (75*, 100, 75 and 50% of potential water demand) and eight commercial varieties of sugarcane (CTC 15, CTC 17, RB 867515, RB 92579, RB 931011, RB 966928, IAC 5000 and NCO 376). Leaf samples sheath pointer and stem were ground and sent to the plant testing laboratory for determination of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) and micro-nutrients (B, Cu, Fe, Mn, Zn). Possession of the nutrient content in each part for each part, and data on the production of pol, TRS, DBAP and GYS, he obtained the accumulation of nutrients in the shoot, biological utilization coefficient for production pol, TRS , DBAP and GYS generally all the nutrients had higher amount allocated in the stem and broth. The variety CTC 15 accumulated higher amount of nutrient, was more efficient in RBA and formation of biomass in the shoot, while the variety RB 966928 was more efficient in the production of ATR and Pol ha^{-1}. The 100% water depth showed higher nutrient accumulation in the shoot, since the blades 50 and 75*% were more efficient in the use of nutrients.

Keywords: *Saccharum spp* ; Irrigation; Varieties; Biological utilization coefficient.

3.1 Introdução

O Brasil responde por um terço da produção mundial de cana-de-açúcar, é o maior produtor, com 8,6 milhões de hectares na safra de 2015/2016, com uma produtividade média de 76,91 ton ha^{-1} de colmos. A produção anual situa em torno de 665,6 milhões de toneladas de colmos de cana-de-açúcar, que gera 33,49 milhões de tonelada de açúcar e 30,5 bilhões de litros de etanol. O Estado de São Paulo contribui com mais 52% da produção canavieira nacional, com área total da cultura em cerca de 4,5 milhões de hectares (CONAB, 2016).

Dessa forma, mesmo com uma média pluviométrica de 1273 mm da região de Piracicaba/SP, em uma série histórica com 20 anos de registro (1988-2008), ser considerada alta em relação ao restante do país, sua distribuição é irregular ao longo do ano, com os meses de abril a setembro apresenta uma média acumulada de 302,4 mm (CIIAGRO, 2016), e consequentemente o rendimento potencial da cultura é reduzido devido a estes períodos de estresse hídrico por falta d’agua.

Assim, o uso da irrigação se mostra necessário, principalmente nas épocas com menores ofertas pluviométricas, pois a variabilidade e má distribuição da precipitação são as principais causas de prejuízos para a cultura da cana-de-açúcar, principalmente pela redução de produtividade e longevidade das soqueiras, que obriga os agricultores renovarem os canaviais mais precocemente. Isso acontece porque a maior parte dos cultivos brasileiros de cana-de-açúcar é feito em regime de sequeiro, o que gera uma estimativa média nacional considerada baixa em relação aos cultivos irrigados, pois neste regime, o crescimento e desenvolvimento

das plantas cultivadas dependem da quantidade e da distribuição das chuvas durante os anos de produção (SILVA et al. 2002; FARIAS et al. 2008). Entre os benefícios da irrigação segundo Matioli et al. (1998) estão o aumento da produtividade e longevidade das soqueiras, o que acarreta a redução nos custos do processo produtivo.

Dentre os principais fatores que limitam a produtividade dos canaviais brasileiros destacam-se a oferta de nutrientes dos solos e a disponibilidade hídrica. Contudo, nota-se que as variedades desenvolvidas nos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar do Brasil mostram-se produtivas e cada vez mais adaptadas edafoclimaticamente às regiões produtoras, o que proporcionou modificações em termos nutricionais, indicando a necessidade de nova avaliação das quantidades de nutrientes já estudadas e atualmente empregadas, principalmente, diante da nova realidade do sistema produtivo, com a intensificação no uso da mecanização e da colheita sem despalha a fogo ("cana-crua"), que gera quantidades significativas de resíduos vegetais sobre o solo.

Nesse novo cenário de produção, o conhecimento das exigências minerais da cana-de-açúcar são informações fundamentais que poderão direcionar a novos métodos e formas de adubação mais eficazes, com menos desperdícios e economicamente viáveis (COLETI et al., 2006). Entretanto, pesquisas que atuam na identificação do potencial de extração e exportação de nutrientes em novas variedades, são esporádicas e pouco consistentes.

O conhecimento da alocação dos nutrientes em partes exportáveis da planta (que não retornarão ao solo), como o colmo da cana-de-açúcar permite estimar a quantidade de nutriente exportado pela cultura o qual será necessário ser reposto para suprir uma futura necessidade nos próximos ciclos de cultivo. Pesquisas realizadas em diversas regiões do Brasil mostram que o acúmulo médio de N, P, K, Ca e Mg no colmo da cana-de-açúcar corresponderam a 59, 55, 51, 61 e 74 %, respectivamente, do total extraído pela parte aérea da planta (OLIVEIRA et al., 2010; SILVA, 2007; GAVA et al., 2001; KORNDOFFER et al., 1997).

Assim, este estudo teve por objetivo avaliar a alocação de nutrientes em cada parte da planta de cana-de-açúcar, a eficiência na utilização de nutrientes para produção a de sacarose aparente, açúcares totais recuperáveis, biomassa da parte aérea e rendimento bruto de açúcar em função de diferentes variedades e lâminas de irrigação.

3.2 Material e métodos

O experimento apresentado esteve vinculado ao projeto de pesquisa *FAPESP 2012/50083-7: "Produtividade da Água em Biomassa e Energia para Variedades de Cana-de-açúcar em Função dos Níveis de Irrigação: Experimentação e Simulação*", aprovado em edital específico do Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE) junto à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Assim, a metodologia adotada e os resultados apresentados foram definidos e redigidos em comum acordo, seguindo as cláusulas do Termo de Convênio de Cooperação firmado entre FAPESP, Odebrecht Agroindustrial (empresa parceira) e a Universidade de São Paulo - USP (Instituição sede do projeto).

A pesquisa foi realizada na área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), localizado na Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (ESALQ/USP), em Piracicaba – SP (Figura 1). As coordenadas geográficas do local são: 22º 43' 30" de latitude Sul, e 47º 38' 00" de longitude Oeste, a altitude é de 546 m.

O experimento foi conduzido em infraestrutura do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Engenharia da Irrigação (INCT-EI), com base em uma casa de vegetação (ambiente protegido), composta por três vãos conjugados, com área total de 400 m^2 e altura do pé-direito de 5,2 m, cobertura plástica transparente (Ginegar Plastic Products® - Kibbutz Ginegar, Israel) e laterais fechadas com tela "sombrite" preta, com aproximadamente 50% de interceptação da radiação global. A estrutura é provida de um total de 396 vasos (parcelas) em concreto armado (333 litros/vaso) assentados sobre base de concreto.

Uma estufa anexa (Estufa de Apoio) com aproximadamente 110 m^2 também foi utilizada para abrigar os quadros de comandos do sistema de irrigação, conjuntos moto-bombas, sistemas de aquisição de dados (dataloggers), além de servir de apoio na realização das análises, colheita e armazenamento do material coletado.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com três blocos completos com parcelas subdivididas. Foram estudados dois fatores, sendo o primeiro com quatro níveis e o segundo com oito, totalizando assim 32 tratamentos, sendo eles: quatro níveis de irrigação ao longo do ciclo (125, 100, 75 e 50% da Demanda Hídrica potencial - DHp) e oito variedades comerciais de cana-de-açúcar.

Para o primeiro fator, os níveis de irrigação adotados foram determinados tomando como referência a demanda hídrica potencial de cada variedade, mantendo-se a umidade do solo no nível de referência (100%) sempre próxima a capacidade de campo (θcc); os demais

níveis representaram 125%, 75% e 50% da lâmina de referência, ou seja, do tratamento que visava atender a toda demanda evapotranspirométrica das variedades. A diferenciação dos níveis de irrigação iniciou-se após a fase de intenso perfilhamento (~110 dias após o plantio), tomando-se como fase crítica na determinação da produção (INMAN-BAMBER, 2004).

Quanto ao fator variedades, buscou-se trabalhar com variedades comerciais que representassem os três principais programas de melhoramento genético atuantes no país, sendo eles: a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético – RIDESA, o Centro de Tecnologia Canavieira – CTC e o Instituto Agronômico de Campinas – IAC. Adicionalmente, optou-se por inserir dentre as variedades nacionais, uma representante sul africana, tendo em vista que este material genético tem sido largamente utilizado em experimentos que subsidiam a modelagem agrícola em cana-de-açúcar. As variedades utilizadas no experimento foram: CTC 15 (CTC 15), CTC 17 (CTC 17), RB 867515 (RB 867515), RB 92579 (RB 92579), RB 931011 (RB 931011), RB 966928 (RB 966928), IAC 5000 (IAC 5000) e NCO 376 (NCO 376).

Os recipientes (vasos) para as plantas foram construídos em concreto armado com dimensões de 1,04 m de comprimento, 1,24 m de largura e 0,76 m de altura, resultando em um volume interno aproximado de 1,0 m^3 $vaso^{-1}$. Os vasos foram fabricados fora da estufa e posteriormente transportados e posicionados sobre a base de concreto no interior da mesma. Para adequar a quantidade de vasos às características e ao número total necessário para as parcelas (referente a outros experimentos que caminharam junto com este), os 132 vasos foram subdivididos em três partes iguais, totalizando 396 vasos menores (parcelas experimentais), com volume aproximado de 0,33 m^3. A divisão foi feita por meio de placas de PVC e lona plástica, de modo a isolar e impermeabilizar cada parcela, para evitar que as raízes e também a umidade de uma parcela não interferissem na parcela vizinha. No fundo do vaso foi colocada uma camada de pedra brita com 0,10 m de espessura, revestida por manta geotêxtil (Bidim), para facilitar a drenagem e também isolar as parcelas.

O enchimento dos vasos foi realizado com o auxílio de carrinho de mão e a quantidade de solo alocada em cada parcela foi igual ao seu volume. Após o processo de enchimento, todas as parcelas receberam irrigação, de modo a promover a acomodação do solo, tendo em seguida sido realizada a complementação necessária para que a altura final no interior do vaso fosse de aproximadamente 0,60 m.

Para este trabalho foram consideradas apenas 32 tratamentos, correspondente 96 parcelas, constando todas as lâminas e variedades.

A cultura foi conduzida em solo da série “Sertãozinho, que é um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco-arenosa, cultivados com duas mudas de cana-de-açúcar. Foram coletadas amostras simples em todas as 396 parcelas da casa de vegetação, na camada de solo entre 0 e 0,30 m. Como o solo havia sido homogeneizado antes do transporte para a estufa, o volume coletado, teoricamente, representou o volume total de solo presente no vaso. As amostras simples foram agrupadas em três amostras compostas correspondentes aos três blocos descritos no delineamento experimental. As Tabelas 3.1 e 3.2 estão descritos os resultados dos teores de macro e micronutrientes encontrados em cada um dos três blocos da estufa no início do ciclo de cultivo.

Tabela 3.1 – Resultado da análise química do solo para macronutrientes realizada nos três blocos do experimento para o ciclo de cultivo

Bloco	pH	M.O.	P_{resina}	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B.	CTC	Sat. bases	m	S
	$CaCl_2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----------mmol$_c$ dm^{-3}----------							---------%---------		mg dm^{-3}
1	5,3 c	9,0	41,5 d	2,7 c	24,0 d	11,3 d	24,3	0,0	38,3	62,5	61,0 c	0,0	11,5 d
2	5,3 c	9,0	44,0 d	3,2 d	22,5 d	9,8 d	24,3	0,0	35,3	59,5	59,3 c	0,0	13,0 d
3	5,6 c	10,0	38,0 d	2,1 c	25,8 d	12,8 d	19,5	0,0	40,5	60,0	67,8 c	0,0	11,5 d

Potencial hidrogeniônico (pH); matéria orgânica (M.O.); fósforo (P_{resina}); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); hidrogênio+alumínio (H+Al); soma de bases (S.B.); capacidade de troca catiônica (CTC); enxofre (S). Letras minúsculas indicam as classes de teores de nutrientes: a - teores muito baixos; b - teores baixos; c - teores médios; d - teores altos; e - teores muito altos. IAC (2014) e Raij et al. (1997)

Tabela 3.2 – Resultado da análise química do solo para macronutrientes realizada nos três blocos do experimento para o ciclo de cultivo

Bloco	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	---------- *DTPA** ----------				*(água quente)*
	---------- *mg dm^{-3}* ----------				
1	0,7 c	26,3 d	1,4 d	5,2 d	0,4 c
2	0,7 c	42,8 d	1,6 d	7,0 d	0,5 c
3	0,7 c	26,0 d	1,7 d	4,2 c	0,5 c

Cobre (Cu); ferro (Fe); zinco (Zn); manganês (Mn); boro (B). Letras minúsculas indicam as classes de teores de nutrientes: a - teores muito baixos; b - teores baixos; c - teores médios; d - teores altos; e - teores muito altos, segundo IAC (2014) e Raij et al. (1997)
*ácido dietilenotriaminopentaacético

Para a caracterização físico-hídrica do solo, foram coletadas amostras indeformadas, com o auxílio de trado tipo Uhland equipado com cilindros de aço inox de 50 cm³. As amostras foram retiradas em três profundidades, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, respectivamente. Foram amostradas aleatoriamente quatro parcelas em cada bloco, resultando em 12 pontos de coleta e um total de 36 amostras na estufa. A determinação das curvas de retenção de água no solo se deu através de mesa de tensão (para tensões de 1, 2, 4 e 6 kPa) e extratores de “Richards” com placas porosas (para tensões de 10, 30, 50, 100, 500, 1000 e 1500 kPa). Realizaram-se também determinações da densidade global (Ds), densidade das partículas (Dp), porosidade total (PT) e análise textural. A caracterização físico-hídrica do

solo pode ser observada na Tabela 3.3 e os parâmetros do modelo de van Genuchten para a curva de retenção de água do solo na Tabela 3.4.

Tabela 3.3 – Caracterização físico-hídrica do solo

Camada (m)	θ_{cc}	θ_{pmp}	CAD (mm)	D_s	D_p	PT (%)	Frações granulométricas		
							Areia	Silte	Argila
	$cm^3\ cm^{-3}$			$g\ cm^{-3}$			%		
0,00 – 0,20	0,224	0,161	22,10	1,61	2,69	40,1	72,29	8,00	19,71
0,20 – 0,40	0,226	0,163	19,62	1,58	2,69	41,2	72,03	8,04	19,93
0,40 – 0,60	0,229	0,166	18,49	1,54	2,69	42,7	72,03	7,69	20,28

θ_{cc}: umidade na capacidade de campo (correspondente ao potencial mátrico (ψ_m) de 4,85 kPa). θ_{pmp}: umidade no ponto de murcha permanente (correspondente ao potencial mátrico (ψ_m) de 1500 kPa). CAD: capacidade de água disponível. D_s: densidade do solo. D_p: densidade de partículas do solo. PT: porosidade total do solo.

Tabela 3.4 – Valores de umidade de saturação (θ_s) e residual (θ_r), e dos parâmetros empíricos (α, n e m) do modelo de van Genuchten (1980)

Camada (m)	θ_s ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_r ($cm^3\ cm^{-3}$)	a (1/cm)	M	N
0,00 – 0,20	0,493	0,161	0,0674	0,4471	1,8224
0,20 – 0,40	0,489	0,163	0,0744	0,4328	1,7680
0,40 – 0,60	0,507	0,166	0,0736	0,4471	1,8137

As irrigações foram realizadas via sistema de gotejamento superficial, com emissores equipados com sistema autocompensante, anti-sifão e anti-drenante. Cada gotejador possuía vazão de 1,6 L h^{-1} e foram instalados cinco emissores por parcela, sendo estes espaçados em 0,20 m, totalizando assim uma vazão de 8 l h^{-1} por parcela.

O tubo gotejador, com diâmetro interno de 16 milímetros, foi instalado no centro da parcela e para sua fixação fez-se necessário a adoção de estacas plásticas que permitissem a manutenção do tubo com os emissores voltados para cima, de modo a evitar o entupimento por partículas sólidas (FARIAS, 2013). A alimentação dos tubos gotejadores foi realizada por meio de microtubos que conduziam a água que supria o sistema. A comunicação destes com os tubos gotejadores foi realizada a partir de cotovelos e conectores internos, ambos com diâmetro de 4,5. Cada uma das parcelas experimentais foi irrigada individualmente, com controle da água de irrigação realizado por meio da abertura e fechamento de micro registros instalados na estufa de apoio, localizada ao lado da estufa principal. Para facilitar o controle da irrigação, os micro registros foram agrupados em um painel de controle, o qual permitia o monitoramento simultâneo de todos os controladores.

Para a pressurização do sistema foi instalado um conjunto motobomba KSB HYDROBLOC C1010® com potência do motor de 1,0 cv e pressão de 20,0 mca para vazão de 3,2 $m^3\ h^{-1}$. A motobomba utilizada apresenta curva característica (vazão x pressão) com

pouca variação de pressão na faixa de vazão que foi utilizada para o experimento. Assim, mesmo com todas as parcelas abertas (3,2 m³ h^{-1}) ou apenas um tratamento aberto (três parcelas abertas com vazão de 0,024 m³ h^{-1}), a variação de pressão foi mínima, não exigindo grandes mudanças na abertura do registro de retorno.

A água utilizada na irrigação (Tabela 3.5) foi armazenada em duas caixas d'água com volume de 5,0 m³. Também foi acoplada ao sistema de irrigação duas motobombas, modelo GRUNDFOS CM3® com potência de 0,75 e 1,0 cv e carcaças e rotores em aço inox, que foram utilizadas para pressurizar as soluções fertilizantes/defensivas quando foram realizadas as quimigações (fertirrigação/insetigação/fungigação). Para o preparo e armazenamento da solução fertilizante durante as aplicações, foi utilizada uma caixa d'água com capacidade de 0,5 m³, instalada paralelamente ao sistema no interior da estufa de apoio. O sistema de irrigação também contava com chave de partida e sistema de filtragem de discos.

Tabela 3.5 – Resultados da análise físico-química da água utilizada para irrigação.

Parâmetros	Unidades	Valores	Valores Normais **
Condutividade elétrica	dS m^{-1}	0,30	0 – 3
Sais dissolvidos totais	mg L^{-1}	192,00	0 – 2000
Cálcio	$mmol_c$ L^{-1}	0,71	0 – 20
Magnésio	$mmol_c$ L^{-1}	0,16	0 – 5
Sódio	$mmol_c$ L^{-1}	0,57	0 – 40
Potássio	$mmol_c$ L^{-1}	0,08	-
Cloreto	$mmol_c$ L^{-1}	0,34	0 – 30
Sulfato	$mmol_c$ L^{-1}	1,02	0 – 20
Nitrato	$mmol_c$ L^{-1}	0,25	-
Carbonato	$mmol_c$ L^{-1}	0,23	0 – 0,1
Bicarbonato	$mmol_c$ L^{-1}	0,23	0 – 10
Nitrogênio-nitrato	mg L^{-1}	15,3	0 – 10
Nitrogênio amoniacal	mg L^{-1}	0,20	0 – 5
Fósforo	mg L^{-1}	0,01	0 – 1
Potássio	mg L^{-1}	3,20	0 – 2
Acidez (pH)	-	6,7	6,0 – 8,5
Relação de adsorção de sódio	-	0,39	0 – 15
Classificação		**C2S1**	

* Ayres e Westcot (1999)

Os sensores de solo instalados foram os tensiômetros, que serviram para o monitoramento do potencial mátrico do solo e subsequente manejo da irrigação. Os tensiômetros foram instalados imediatamente após o transplantio das mudas nas parcelas, em três repetições das oito variedades que foram manejadas com tratamentos de lâmina de 100%, que serviram como referência para o manejo dos demais níveis de irrigação. Uma bateria com três tensiômetros foi instalada no centro das parcelas e entre as duas plantas nas

profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, representando as camadas de 0,0-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, respectivamente.

Quanto aos sensores utilizados para o monitoramento dos elementos climáticos, estes foram instalados no centro da casa de vegetação, com o intuito de estimar a evapotranspiração de referência (ETo) pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), assim como auxiliar na interpretação dos resultados alcançados. Desta forma, foram monitorados a densidade de fluxo (W m^{-2}) da radiação solar global (Rg), através de piranômetro de silício (LI200X - Licor), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), através de sensor quântico (LI190SB - Licor) e radiação líquida (Rn), através de saldo radiômetro (NR^{LITE} - Campbell Sci.), assim como a temperatura do ar (ºC) e umidade relativa do ar (%), através de sensor Vaissala (HMP45C - Vaissala). Os sensores foram instalados no vão central em duas alturas (próximo ao teto da estufa e acima do dossel da cultura), e ligados a um datalogger (CR1000 - Campbell Sci.), armazenando-se os dados em intervalos de 15 minutos.

Os colmos que deram origem as mudas utilizadas nesta pesquisa foram obtidos junto a unidades experimentais que realizam o melhoramento genético das variedades adotadas neste estudo. Dessa forma, efetuaram-se coletas em campos do CTC (Piracicaba/SP), RIDESA (Araras/SP) e IAC (Ribeirão Preto/SP), com a garantia dos programas de origem de que se tratavam de colmos propícios para a produção das mudas, ou seja, idade entre 10 e 12 meses, sem problemas de sanidade e principalmente, com a identificação correta da variedade fornecida. A exceção ficou por conta da variedade sul-africana, que foi coletada na Estação de Cruzamentos do CTC em Camamu/BA, e não no seu programa de origem.

Dos colmos selecionados utilizou-se para o plantio apenas as gemas do terço médio de cada colmo, uma vez que é esta porção do colmo que apresenta as gemas mais uniformes. A metodologia de plantio utilizada foi semelhante à empregada e recomendada pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), denominada de sistema de Mudas Pré-Brotadas (MPB). Os mini-toletes foram plantados no dia 31/01/2013. O transplantio das mudas foi realizado no dia 12/03/2013. Nesta data, as mudas se encontravam com altura média entre 0,30 e 0,40 m e de três a cinco folhas expandidas.

Foram transplantadas duas mudas por parcela, que foram posicionadas no centro da parcela, com a finalidade de garantir que cada uma teria a mesma área de solo disponível (0,21 m^2 $planta^{-1}$). A cova tinha profundidade média de 0,15 m. Assim, as mudas ficaram igualmente distribuídas com uma distância de 0,20 e 0,26 m das laterais da parcela e 0,52 m entre si. Previamente ao transplantio, o solo foi umedecido e teve sua umidade elevada para uma condição próxima a capacidade de campo, de forma a assegurar um melhor pegamento

das mudas e também auxiliar na acomodação do solo revolvido para o transplantio, e retirar possíveis bolhas de ar contidas entre o solo e as raízes.

Durante todo o ciclo da cultura as plantas foram constantemente monitoradas de modo a assegurar a sua sanidade, e garantir que os efeitos dos tratamentos impostos não sofressem influência de fatores não mensurados no experimento.

Para o controle de plantas daninhas, as medidas adotadas foram sempre preventivas, de modo a não permitir que houvesse competição entre as plantas de cana e plantas invasoras, que poderiam interferir, principalmente, no consumo hídrico da fase inicial de desenvolvimento das touceiras. As adubações foram realizadas via fertirrigação e aplicação foliar, não havendo diferenciação quanto à demanda nutricional inerente a cada variedade; todas foram adubadas com base na mesma recomendação, tomando-se o devido cuidado para que nenhuma das variedades fosse submetida a qualquer restrição de nutrientes. A quantidade de nutrientes aplicados durante o ciclo está discriminada na Tabela 3.6, sendo as adubações (fertirrigação e aplicação foliar) realizadas com periodicidade mensal. Os produtos comerciais utilizados foram cedidos pela Produquímica®, sendo eles ProAcqua Inicial, ProAcqua Crescimento, Improver, Ácido Húmico, Ever, Concorde, Triunfo e CanaMicros.

Tabela 3.6 – Quantidade total de nutrientes aplicados durante o ciclo da cana-de-açúcar

N	K	B	Cu	Mn	Mo	Zn
			kg ha^{-1}			
94	92	2	0,32	0,61	0,72	6,20

Para as fertirrigações, os fertilizantes eram diluídos em aproximadamente 400 L de água, sendo esta solução injetada no sistema já pressurizado. Após a injeção de toda a solução fertilizante, era feita a injeção de água "pura" para limpeza do sistema e melhor distribuição dos fertilizantes no solo.

A avaliação do estado nutricional das plantas foi realizada via análises de solução do solo, análises foliares e análises químicas do solo durante todo período experimental, estas ferramentas de monitoramento permitiram a adequada nutrição das plantas durante os dois ciclos de cultivo.

O manejo da irrigação foi realizado via solo, o qual buscou repor o volume de água consumido por cada uma das variedades estudadas. Para tanto, utilizou-se dados de tensão da água no solo, obtidos a partir de 72 tensiômetros instalados nas parcelas que receberam o tratamento de irrigação com lâmina de reposição igual a 100% da DHp. Os dados de tensão

coletados a partir dos tensiômetros foram inicialmente transformados em potencial matricial da água no solo (ψ_m) (Equação 1), descontando-se a pressão equivalente à altura da coluna d'água existente no tensiômetro para cada profundidade medida. A pressão equivalente descontada foi de 3,0, 5,0 e 7,0 kPa para os tensiômetros instalados nas camadas de 0,00-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, respectivamente.

$$\Psi_m = L_t - h_c \tag{1}$$

em que:
ψ_m - potencial matricial da água no solo (kPa);
L_t - leitura do tensiômetro ou tensão da água no solo (kPa);
h_c - pressão equivalente à altura da coluna d'água no tensiômetro (kPa);

Após obter os dados do potencial matricial da água no solo (ψ_m), foi calculada a média entre as leituras dos três blocos, obtendo-se, dessa forma, um valor de tensão para cada camada e para cada uma das variedades (24 valores de ψ_m). Com estes valores, foi estimada a umidade (θ), em m^3 m^{-3}, através do modelo proposto por van Genuchten (1980) (Equação 2), que relaciona os valores de ψ_m com os respectivos valores de θ, utilizando os parâmetros característicos deste solo apresentados na Tabela 3.4.

$$\theta\,(\Psi_m) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1+(\alpha \cdot |\Psi_m|)^n]^m} \tag{2}$$

em que:
θ (ψ_m) - umidade volumétrica em função do potencial mátrico, em m^3 m^{-3};
θ_r - umidade volumétrica residual do solo, em m^3 m^{-3};
θ_s - umidade volumétrica do solo saturado, em m^3 m^{-3};
m e n - parâmetros de regressão da equação, adimensionais;
α - parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, em kPa^{-1}; e
ψ_m - potencial mátrico, em kPa.

Assim, de posse dos dados de umidade estimados e a caracterização físico-hídrica do solo de cada camada (Tabela 3), foram calculadas as lâminas de irrigação necessárias para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo (θ_{cc}) para cada variedade do tratamento L100 (Equação 3).

$$L_x = (\theta_{cc} - \theta) \cdot Z \tag{3}$$

em que:
L_x - lâmina necessária para elevar a umidade da camada *x* até a capacidade de campo, em mm;
θ_{cc} - umidade volumétrica na capacidade de campo para a camada *x*, em m^3 m^{-3};
θ - umidade volumétrica atual estimada para a camada *x*, em m^3 m^{-3}; e
Z - Espessura da camada *x*, em mm.

A somatória das lâminas necessárias de cada camada (Equação4) resultou na lâmina de irrigação a ser aplicada para cada variedade.

$$LI = L_{0,0-0,2} + L_{0,2-0,4} + L_{0,4-0,6} \quad (4)$$

em que:
LI - lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo, em mm;
$L_{0,0-0,2}$ - lâmina necessária para elevar a umidade da camada 0,0 a 0,2 m até a capacidade de campo, em mm;
$L_{0,2-0,4}$ - lâmina necessária para elevar a umidade da camada 0,2 a 0,4 m até a capacidade de campo, em mm; e
$L_{0,4-0,6}$ - lâmina necessária para elevar a umidade da camada 0,4 a 0,6 m até a capacidade de campo, em mm.

Para facilitar o manejo da irrigação, foi utilizada uma planilha elaborada no Software Microsoft Excel®, que tornou prática e rápida à determinação do tempo de irrigação para cada tratamento de lâmina imposto. Para o cálculo do tempo de irrigação (Equação 5), adotou-se a vazão do sistema e área de solo da parcela de 8 L h^{-1} e 0,43 m^2, respectivamente.

$$TI = \frac{LI \cdot A}{Q} \cdot 60 \quad (5)$$

em que:
TI - tempo de irrigação, em minutos;
LI - lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo, em mm;
A - área de solo da parcela, em m^2; e
Q - vazão do sistema, em L h^{-1}.

Dessa forma, a lâmina de irrigação de cada variedade foi adotada como lâmina de referência, bem como o tempo de irrigação necessário para que houvesse a reposição hídrica. Para a irrigação dos demais tratamentos (L50, L75 e L75*), foi calculada a fração do tempo de irrigação que deveria ser aplicada de acordo com o tratamento. A L75* foi uma lâmina com volume de água variável, mas similar ao do nível de 75% da DHp, de modo que, as plantas instaladas nestas parcelas fossem irrigadas com lâminas cada vez mais restritivas até se igualar àquelas dos tratamentos com lâmina de 75%.

O experimento foi colhido no dia 16/02/2014, 381 dias após o plantio (DAP), e devido ao grande número de amostras, se estendeu até 27 de fevereiro de 2014 (392 DAP). Para minimizar os erros experimentais do longo período de colheita, o experimento foi colhido bloco a bloco, colhendo-se 32 parcelas (64 touceiras) por dia. Imediatamente após o corte e a limpeza, os colmos foram pesados em balança digital semianalítica, obtendo-se a biomassa fresca de colmos de cada touceira, também se obteve a biomassa de ponteiros, bainhas e

folhas a partir da pesagem destas partes, que foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 65ºC até peso constante.

Os colmos de cada parcela (duas touceiras) foram desintegrados (Engehidro DCE 2600®) e este material desintegrado foi homogeneizado (Engehidro HCE-250, obtendo-se uma amostra mínima de 2,0 kg, representativa de cada parcela. Da amostra homogeneizada foi pesado 0,50 kg de material, em balança analítica digital, sendo esta quantidade de material submetido a uma pressão de 250 kgf cm^{-2}, durante um minuto, utilizando-se de uma prensa hidráulica (MA098/CANA - Marconi®). Após a prensagem, foram obtidos dois produtos, o caldo (CA), que foi armazenado em Becker de 600 ml, e o bagaço úmido ou bolo úmido (BU), que foi armazenado em recipientes descartáveis (marmitas) de alumínio e posteriormente foi seco em estufa de circulação de ar forçada a 65ºC até peso constante.

Na Tabela 3.7 têm se os resultados de produtividades obtidos para cada variedade em função de cada lâmina. Sendo todas as variáveis calculadas nesse estudo baseadas nas produtividades correspondentes.

Tabela 3.7 - Produtividade de oito variedades de cana de açúcar em função das lâminas de irrigação.

Lâminas	Variedades							
	CTC 15	CTC 17	RB 867515	RB 92579	RB 931011	RB 966928	IAC 5000	NCO 376
	ton colmos ha^{-1}							
50	152,5	139,9	120,3	148,0	110,8	115,7	113,5	106,7
75	201,0	226,3	180,6	229,7	174,9	162,1	156,0	141,8
100	266,7	261,0	205,1	288,0	224,1	197,3	225,9	189,8
75*	171,9	164,0	164,6	225,2	150,5	150,9	152,5	136,0

Como este estudo derivou de um experimento com dois ciclos de cultivo, ao final do ciclo da cana-planta não houve coleta do caldo e de raiz para realização da determinação de nutrientes, sendo estes coletados no final do ciclo da cana-soca. A partir dos resultados obtidos, estimou-se em função da biomassa de cada parcela da cana-planta, quais seriam os valores de macro e micronutrientes no caldo produzido no primeiro ciclo.

Amostras de folha, bainha, ponteiro e colmo foram moídos, totalizando 384 amostras, que foram enviadas ao laboratório de análise vegetal para a determinação de teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, CU, Fe, Mn e Zn).

De posse dos teores de nutrientes em cada parte, para cada parcela, e dados referentes a produção de biomassa seca da parte aérea (BSPA), produção de sacarose aparente (pol),

açúcares totais recuperáveis (ATR), rendimento bruto de açúcar (RBA), obteve-se o acúmulo de nutrientes na parte aérea (Equação 6), coeficiente de utilização biológica para produção de pol (Equação 7), coeficiente de utilização biológica para produção de ATR (Equação 8), coeficiente de utilização biológica para produção de BSPA (Equação 9) e coeficiente de utilização biológica para RBA (Equação 10).

$$AN = \frac{\mathrm{TN}}{MS} \tag{6}$$

em que:
AN- acúmulo de nutrientes na parte aérea, kg ha^{-1};
TN – teor de nutriente da parte aérea (com caldo), kg nutriente kg^{-1} MS; e
MS – matéria seca da parte aérea, em kg ha^{-1}.

$$CUB_{PH} = \frac{\mathrm{P}}{AN} \tag{7}$$

em que:
CUB_{PH}- coeficiente de utilização biológica para Pol, kg de pol kg de $nutriente^{-1}$;
PH – pol, kg ha^{-1}; e

$$CUB_{ATR} = \frac{\mathrm{ATR}}{AN} \tag{8}$$

em que:
CUB_{ATR}- coeficiente de utilização biológica para ATR, kg de ATR ton^{-1} kg de nutriente ha^{-1};
ATR – açúcares totais recuperáveis, kg ton^{-1}; e

$$CUB_{BSPA} = \frac{\mathrm{BSPA}}{AN} \tag{9}$$

em que:
CUB_{BSPA}- coeficiente de utilização biológica para BSPA, kg de BSPA kg de $nutriente^{-1}$;

$$CUB_{RBA} = \frac{\mathrm{RBA}}{AN} \tag{10}$$

em que:
CUB_{RBA}- coeficiente de utilização biológica para RBA, kg de Açúcar kg de $nutriente^{-1}$;
RBA – rendimento bruto de açúcar, kg ha^{-1}; e

Para as análises estatísticas adotou-se o software SAS 9.2 para realização das análises de variância com teste Tukey a 0,05 de probabilidade.

3.3 Resultados e discussão

Os teores de nutrientes acumulados, no desponte, folha, bainha, caldo, bagaço e raiz podem ser observados nas Figuras 1 e 2. Houve diferença significativa para todas as partes em todos os nutrientes, exceto raiz, que foi significativa apenas para magnésio e zinco. Na Figura 1 estão os teores de macronutrientes e na Figura 2 os micronutrientes. Conforme Figura 1a a IAC 5000 alocou maior quantidade de nitrogênio no desponte quando comparada as demais, cerca de 71 kg ha^{-1}. Nas folhas a CTC 17 obteve maior acúmulo, 105,28 kg ha^{-1}, nas bainhas a RB 92579 alocou 35,52 kg ha^{-1}, no caldo a maior quantidade alocada de N foi encontrada para RB 92579, 190,83 kg ha^{-1}. No bagaço a CTC 15 alocou mais nitrogênio, 171,96 kg ha^{-1}. A RB 966928 teve a menor alocação de N no desponte, na folha e no bagaço, no caldo a RB 867515 alocou menos.

Para o fósforo (Figura 1b) a IAC 5000 alocou maior quantidade no desponte quando comparada as demais variedades, cerca de 15 kg ha^{-1}. As variedades não diferiram entre si no acúmulo de fósforo, já nas folhas, nas bainhas a RB 867515 alocou 1,35 kg ha^{-1}, no caldo a maior quantidade alocada de P foi encontrada para CTC 15, 31,53 kg ha^{-1}. No bagaço a RB 931011 alocou mais nitrogênio, 12,30 kg ha^{-1}. A NCO 376 teve a menor alocação de N em todas as partes.

Segundo Orlando Filho (1983), todo o conteúdo de P na cana-de-açúcar ocorre nos centros de maior atividade da planta, tais como região de crescimento e de assimilação de carbono, podendo ser translocado para outras partes da planta de maior necessidade. Dessa forma as folhas velhas atuam como fonte, que fornece nutrientes para os pontos de crescimento que vai atuar como dreno, reciclando-o na própria planta. Orlando Filho (1983), observou a seguinte ordem decrescente de quantidade de fósforo na cana-de-açúcar: tecidos meristemáticos, colmos em elongação, folhas jovens, folhas velhas e cana madura. Assim, à medida que os tecidos envelhecem, apresentam menores quantidades de P.

O potássio (Figura 1c) foi alocado em maior quantidade no desponte pela CTC 15, cerca de 133,18 kg ha^{-1}, já nas folhas e a nas bainhas a RB 92579 obteve maior alocação 145,07 e 56,28 kg ha^{-1}, respectivamente. No caldo maior quantidade alocada de N foi encontrada para CTC 17, 191,23 kg ha^{-1}. As variedades não diferiram entre si no acúmulo de potássio no bagaço. Sabe-se que a absorção de cátions depende principalmente da concentração na solução do solo, mas pode ocorrer competição não-específica entre cátions pelo mesmo sítio de absorção na superfície das raízes. Isto faz com que a velocidade de absorção de um cátion seja diminuída pela presença de outro na solução, inibindo a absorção do primeiro

(MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O K+ apesar de ter valência +1, tem o menor raio hidratado (0,53 nm), o que pode facilitar sua absorção pela planta, sendo assim, absorvido mais rapidamente pela planta, embora a concentração de Ca no solo possa ser até dez vezes maiores (MENGEL & KIRKBY, 2001).

Na Figura 1d é possível observar que, a IAC 5000 alocou maior quantidade de cálcio no desponte e nas folhas quando comparada as demais, cerca de 24 e 154 kg ha^{-1}, nesta ordem. Nas bainhas e no bagaço a RB 92579 alocou 32,24 e 50,61 kg ha^{-1}, respectivamente. No caldo a maior quantidade alocada de N foi encontrada para CTC 17, 128,39 kg ha^{-1}. A NCO 376 teve a menor alocação de Ca no desponte, na folha e no bagaço; na bainha, a RB 867515 e no caldo a IAC 5000 alocou menos.

O cálcio é essencial para manter a integridade estrutural das membranas e paredes celulares, está ligado na pectina da parede celular, formando pectatos de Ca que faz parte da lamela média e “cimenta” uma célula a outra (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), sendo depositado durante a citocinese, e dessa forma quando a célula cresce, aumenta também a necessidade de Ca (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Por isso o cálcio é considerado um elemento de baixíssima mobilidade dentro da planta. (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA,1997).

O magnésio (Figura 1e) foi alocado em maior quantidade no desponte, nas folhas, nas bainhas e no bagaço pela CTC 15, 16,18, 71,79, 42,38 e 26,21 kg ha^{-1}, respectivamente. Nas folhas e a nas bainhas, a RB 92579 obteve maior alocação 145,07 e 56,28 kg ha^{-1}, respectivamente. No caldo maior quantidade alocada de Mg foi encontrada para CTC 17, 55,14 kg ha^{-1}. A RB 966928 teve a menor alocação de Mg no desponte e no bagaço, e a maio na raiz, 5,29 kg ha^{-1}, enquanto que nas bainhas e no caldo, a NCO 376 teve menor alocação; e nas folhas a RB 92579 alocou menos.

O teor de Mg na folha é maior que em outras partes, mesmo tendo menor acúmulo de MS; o fato é que este nutriente se apresenta em maior concentração na folha, por ser o componente central da molécula de clorofila, e está em maior quantidade nos pontos de crescimento (EPSTEIN; BLOOM, 2006). De acordo com Epstein; Bloom (2006), cerca de 2,7 % do peso molecular da clorofila são representados pelo magnésio. O Mg é ainda ativador de muitas enzimas, principalmente aquelas ligadas ao metabolismo energético, tais como respiratórias, de ativação de aminoácidos e descarboxilase.

Figura 1 – Alocação de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) e enxofre (f) no desponte, folhas, bainhas, caldo, bagaço e raízes** de variedades de cana-planta irrigadas por gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ** Dados estimados.

Para o enxofre (Figura 1f) a CTC 15 e IAC 5000 alocaram maior quantidade deste nutriente no desponte quando comparada as demais, cerca de 13 kg ha^{-1}. Nas folhas e nas bainhas a CTC 15 obteve maior alocação 82,68 e 50 kg ha^{-1}. No caldo a maior quantidade alocada de S foi encontrada para RB 92579, 163,45 kg ha^{-1}. A NCO 376 teve a menor alocação de S nas bainhas e no bagaço, no desponte a CTC 17 e nas folhas a RB 931011.

Conforme Figura 2a a IAC 5000 alocou maior quantidade de cobre no desponte quando comparada as demais, cerca de 50 g ha^{-1}. Nas folhas e no bagaço não houve diferença entre as

variedades. Nas bainhas a RB 92579 alocou 37,66 g ha^{-1}, no caldo a maior quantidade alocada de Cu foi encontrada para CTC 15, 472,66 g ha^{-1}. A NCO 376 teve a menor alocação de Cu em todas as partes.

Para o ferro (Figura 2b) a CTC 15 alocou maiores quantidades no desponte, nas folhas e no bagaço, 782,90, 2253,69 e 4298,40 g ha^{-1}, respectivamente. Nas bainhas, a RB 92579 alocou 711,08g ha^{-1}, no caldo a maior quantidade alocada de Fe foi encontrada para RB 966928, 1419 g ha^{-1}, oposto do que ocorreu para desponte folhas e bainhas. A RB 867515 teve a menor alocação de Fe no caldo e a IAC 5000 no bagaço.

O zinco (Figura 2c) foi alocado em maior quantidade no desponte pela CTC 15, cerca de 328 g ha^{-1}. Nas folhas, a RB 92579 obteve maior alocação 851,12 g ha^{-1}. As variedades não diferiram entre si para bainhas. No caldo maior quantidade alocada de Zn foi encontrada para RB 966928, 2280 g ha^{-1}.

A CTC 15 acumulou maior quantidade de manganês no desponte, 310,49 g ha^{-1}. As variedades não diferiram entre si para folha, A RB 92579 obteve maio alocação nas bainhas e no bagaço, 811,38 e 355,23 g ha^{-1}, respectivamente. No caldo a maior quantidade alocada de Mn foi encontrada para RB 966928, 1361,28 g ha^{-1}.

As variedades não diferiram entre si na folha e na bainha para alocação de boro.

De modo geral, avaliando-se a distribuição dos nutrientes nas partes da planta, observou-se que o colmo alocou as maiores quantidades de N, o caldo obteve as maiores quantidades de P, K, S e Cu as folhas alocaram a maior quantidade de Ca, Mg, Zn e Mn e B.

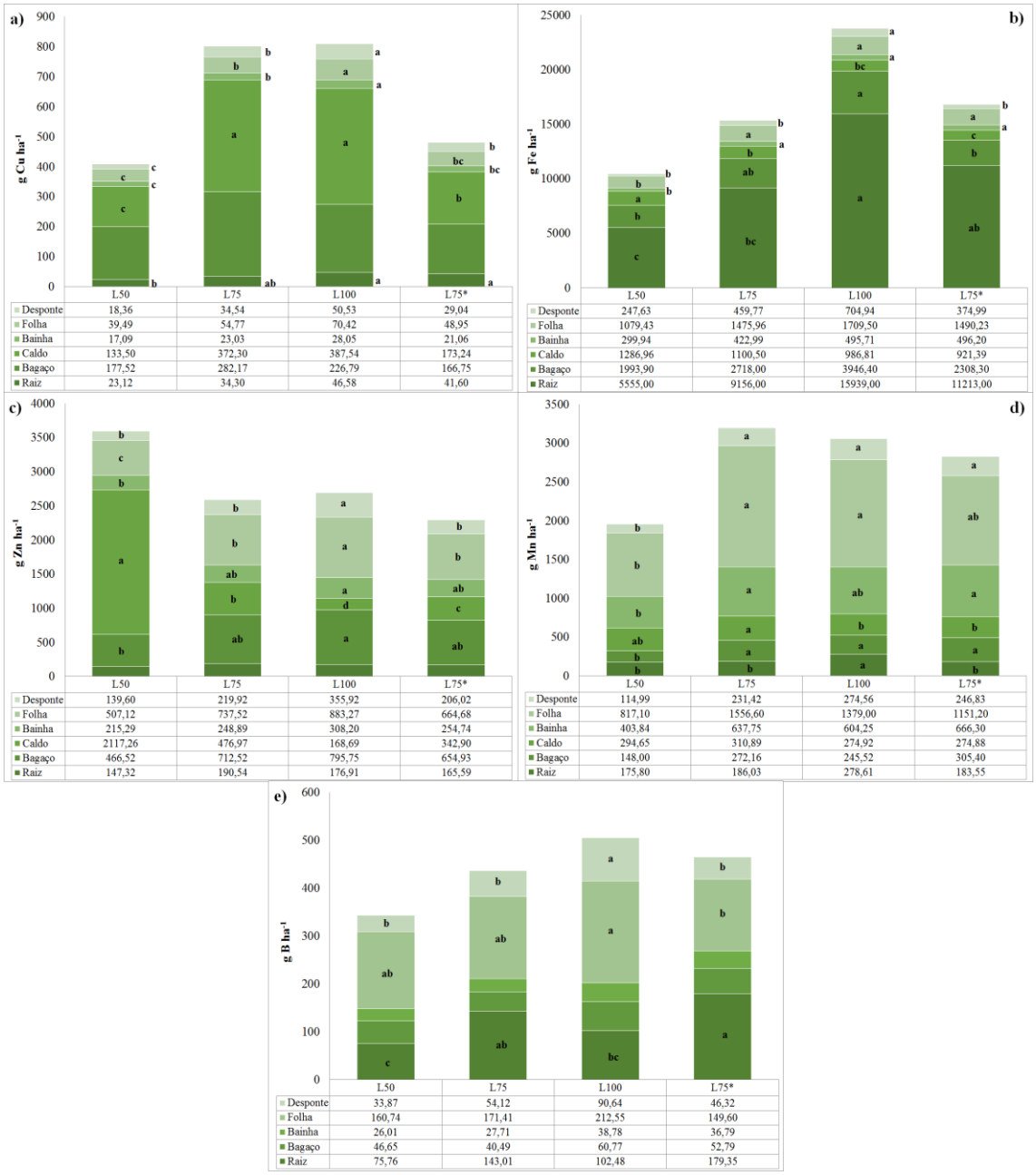

Figura 2 – Alocação de cobre (a), ferro (b), zinco (c), manganês (d) e boro (e) e enxofre (f) no desponte, folhas, bainhas, caldo, bagaço e raízes** de variedades de cana-planta irrigadas por gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ** Dados estimados

Todos os resultados obtidos para acúmulo de nutrientes e coeficiente de utilização biológica de nutrientes para pol, açúcares totais recuperáveis, biomassa seca da parte aérea e rendimento bruto de açúcar também podem ser observados nas tabelas presente no item ANEXO deste documento.

A variável acúmulo de nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar em função das variedades foi significativa para todos os macronutrientes avaliados (Figura 3a), enquanto que para micronutrientes foi significativa apenas para ferro e boro (Figura 3b). A CTC 15

acumulou maior quantidade nitrogênio, 458,51 kg ha^{-1}, mas não diferiu da CTC 17 e RB 867515, já RB 966928 foi a que menos acumulou nitrogênio, apenas 287,27 kg ha^{-1}. Para fósforo RB 867515 e IAC 5000 acumularam 42,63 e 43,84 kg ha^{-1}, respectivamente, diferindo apenas da CTC 15e NCO 376, tendo esta última acumulado somente 27,42 kg ha^{-1}. A CTC 17 obteve a maior média de acúmulo de potássio, cerca de 475 kg ha^{-1} embora tenha diferido apenas da RB 966928 e NCO 376, que apresentaram menor acúmulo desse nutriente, 345,76 e 358,56 kg ha^{-1}, nesta ordem. Para cálcio IAC 5000 obteve maior média de acúmulo, 277,96 kg ha^{-1}, diferindo somente de NCO 376. A CTC 15 diferiu das demais e teve maior acúmulo de magnésio, cerca de 180 kg ha^{-1}, enquanto que RB 966928 acumulou 100 kg ha^{-1}. O acúmulo de enxofre foi maior na CTC 15, cerca de 240 kg ha^{-1}, e menor na RB 931011, 131,34 kg ha^{-1}. De modo geral, a ordem de alocação de macronutrientes pelas variedades foi: K > N > Ca > S > Mg > P, o que corrobora com os dados obtidos por Orlando Filho et al. (1980), estudando as variedades Co419 e CB41-76.

Pode-se observar que todas variedades absorveram quantidades superiores às da adubação (92 kg ha^{-1}de N), e considerando os resultados de Oliveira et al. (1999), em que a eficiência de absorção do N do fertilizante pela cana-planta é da ordem de 50%, pode-se estimar que o solo contribuiu com 32,72 e 20,5 % do N acumulado na parte aérea da variedade menos e mais eficiente, respectivamente. Portanto, para que a fertilidade natural do solo e a sustentabilidade do sistema bem como a viabilidade do canavial se mantenham, mesmo não obtendo resposta em termos de produção de biomassa, a adubação nitrogenada no plantio se faz necessária (MENDES, 2006).

De acordo com Rozane et al. (2003) o acúmulo de nitrogênio pela cana-de-açúcar varia de acordo com o cultivar, a idade da cultura, a disponibilidade do N e de outros elementos na solução do solo, como também depende de fatores edafoclimáticos. Afirmam ainda que o nitrogênio absorvido aumenta a atividade meristemática da parte aérea, resultando em maior perfilhamento e índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar. Além disso, o N aumenta a longevidade das folhas. Esse incremento do IAF eleva a eficiência do uso da radiação solar, aumentando, portanto, o acúmulo de matéria verde.

O acúmulo de ferro foi maior para a CTC 15 cerca de 8,5 kg ha^{-1}, enquanto que a RB 931011 acumulou 4 kg ha^{-1}. Já para boro o acúmulo foi de 437,82 g ha^{-1} para IAC 5000 e 239,33 g ha^{-1} (Figura 5b). De modo geral, a ordem de alocação de micronutrientes pelas variedades foi: Fe > Mn > Zn > Cu > B.

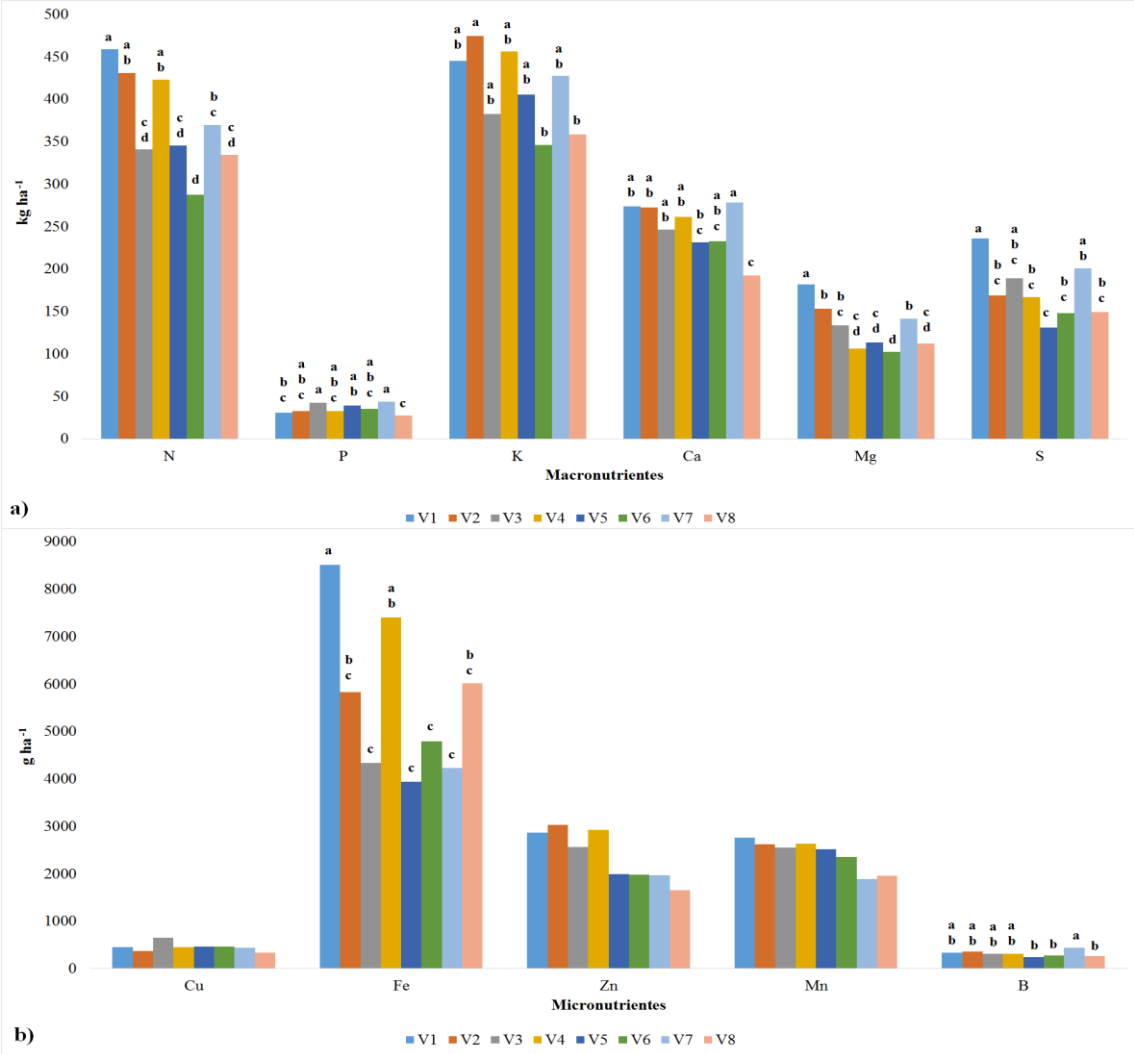

Figura 3 – Acúmulo de macro (a) e micronutrientes (b) na parte aérea de variedades de cana-planta irrigadas por gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra dentro do nutriente não diferiram entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Gráfico vinculado às tabelas 1 e 2 do anexo.

Oliveira et al. (2002), avaliando extração de N nas variedades RB867515 e RB72454 sob irrigação de salvação, constataram acúmulos na parte aérea de 271 e 198 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Por outro lado, quando não irrigadas, as variedades RB867515 (Silva et al., 2007a) e RB72454 (Barbosa et al., 2002) apresentaram extrações de 149 e 134 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Também em manejo de sequeiro, as variedades SP81- 3250 (Coleti et al., 2006; Franco et al., 2008a) e RB92579 (Silva et al., 2007a) apresentaram extrações de 185 e 148 kg ha^{-1} de N, respectivamente.

Como pode ser observado na Figura 4 a variável acúmulo de nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação foi significativa para todos os macro (Figura 4a) e micronutrientes (Figura 4b) avaliados. A L100 proporcionou maior acúmulo para todos os nutrientes, exceto cobre e manganês, com valores de acúmulo na ordem de 478,28 kg N ha^{-1}, 44,70 kg P ha^{-1}, 507,81 kg K ha^{-1}, 317,30 kg Ca ha^{-1}, 174,51 kg Mg ha^{-1},

215,80 kg S ha^{-1}, 7,61 kg Fe ha^{-1}, 3,42 kg Zn ha^{-1} e 402,73 g B ha^{-1}. Enquanto que a L50 ocasionou menor acúmulo para todos os nutrientes.

Para o enxofre, tem sido constatada redução progressiva de sua disponibilidade devido à extração e remoção do nutriente por culturas, uso intenso de fertilizantes concentrados e em grande parte pela lixiviação do sulfato. Estudos realizados em campo com cana-soca (VITTI, 2003 e em lisímetros com cana-planta (FRANCO et al., 2006), aplicando-se doses crescentes de nitrogênio, revelaram efeito sinérgico da nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar no maior acumulo de outros nutrientes, especialmente o enxofre. Estes resultados sugerem que a adubação nitrogenada auxilia no melhor aproveitamento do enxofre mineral do solo, o que, como consequência deve refletir na redução da perda do nutriente por lixiviação.

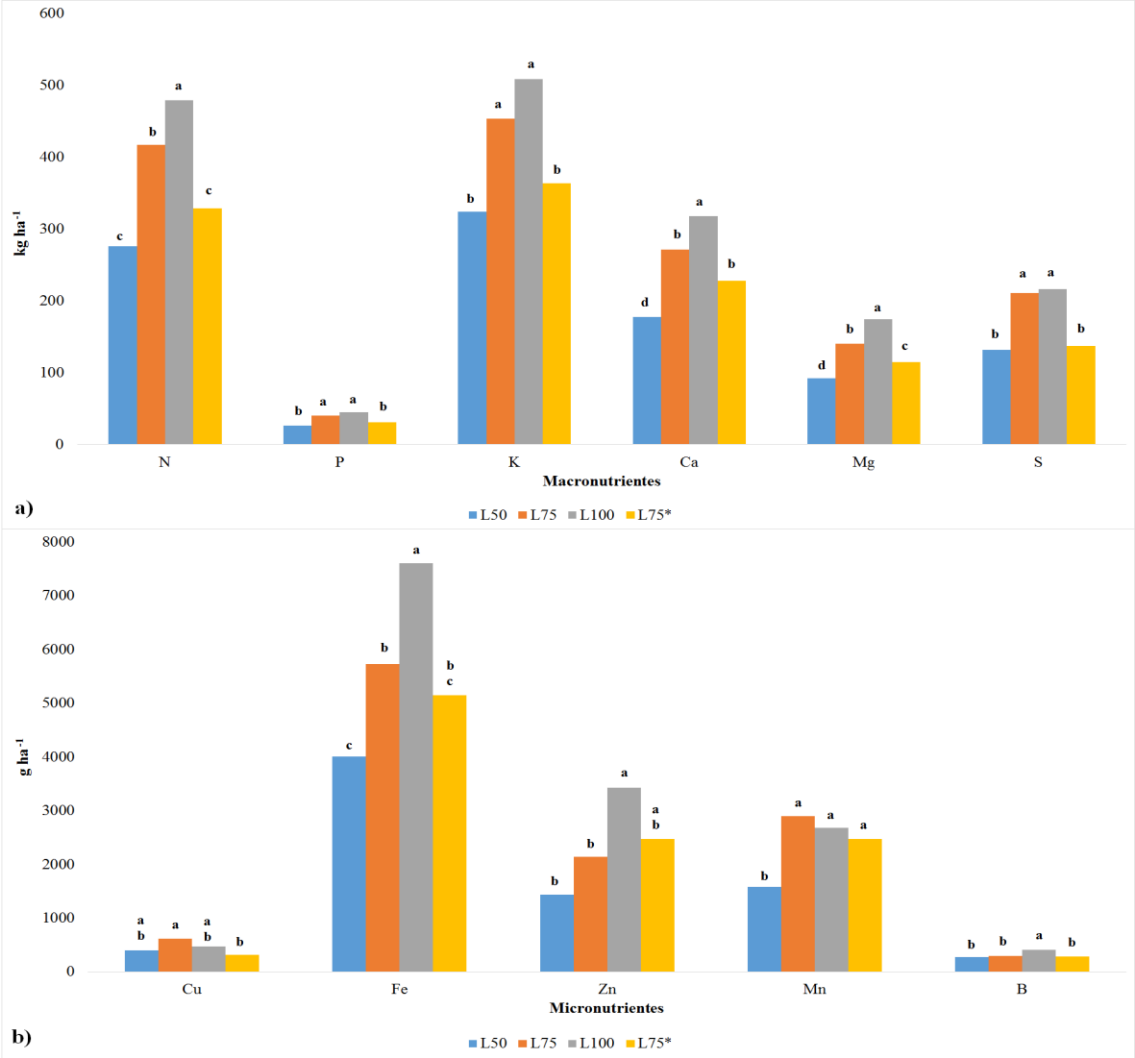

Figura 4 – Acúmulo de macro (a) e micronutrientes (b) na parte aérea de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação por gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra dentro da lâmina não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Gráfico vinculado às tabelas 3 e 4 do anexo.

Rao, (2004), estudando o acúmulo de S em cana-de-açúcar observou diferenças entre clones e em diferentes partes das plantas, sendo a média 4,5; 9,6 e 14,4 kg ha^{-1} para folha seca, ponteiro e colmo. Os mesmos autores observaram ainda interação do S com outros nutrientes: fósforo, potássio e principalmente nitrogênio. Existe uma estreita relação entre N e S, uma vez que o enxofre é constituinte de numerosos compostos da planta, sendo as proteínas os mais importantes; o S faz parte dos aminoácidos, tais como metionina (21% S) e cistina (27% de S), reguladores de crescimento (tiamina, biotina e glutamina) (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A cana-de-açúcar, por produzir elevada quantidade de massa, acumula apreciável quantidade de nutrientes. Esse acúmulo é influenciado por características morfológicas, fisiológicas do sistema radicular, pela aeração do solo, a disponibilidade de água e de nutrientes no solo e as condições térmicas (VITTI; MAZZA, 2002; VASCONCELOS; GARCIA, 2005).

De acordo com Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997), as principais funções do S na planta são: componentes de proteínas, componentes de coenzimas, participando no metabolismo de carboidratos e lipídeos, reações de descarboxilação, através da biotina e reações de fixação do carbono na fotossíntese. A deficiência desse nutriente desorganiza a estrutura dos cloroplastos, diminuindo a atividade fotossintética e aumentando a relação N solúvel/N protéico.

Observando a Figura 5, os valores de coeficiente de utilização biológica para produção de sacarose aparente (CUBPH) dos macronutrientes em função das variedades foram todos significativos a 0,05 pelo teste Tukey (Figura 5a), o mesmo não ocorreu para os micronutrientes (Figura 5b), os quais Zn e Mn não foram significativos. A RB 966928 foi mais eficiente na utilização de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e produzindo em média 71,71 kg pol kg^{-1} N, 58,78 kg pol kg^{-1} K, 88,39 kg pol kg^{-1} Ca, 115,55 kg pol kg^{-1} Mg e 152,33 kg pol kg^{-1} S, na utilização do fósforo a CTC 15 foi a mais eficiente com 794,36 kg pol kg^{-1} P. A NCO 376 foi a menos eficiente na utilização de nitrogênio, potássio e cálcio, a IAC 5000 na utilização do fósforo, a CTC 17 na utilização do magnésio e a CTC 15 na utilização do enxofre. As variedades não diferiram entre si para CUBPHCu e CUBPHB (Figura 5b), na utilização do ferro a RB 966928 foi a mais eficiente com 4,68 kg pol kg^{-1} Fe, já a NCO 376 foi a menos eficiente 2,05 kg pol kg^{-1} Fe.

Os fatores que contribuíram para maior eficiência da RB 966928 foram o baixo acúmulo de nutrientes na parte aérea e a produção de sacarose aparente relativamente alta. Já a NCO 376 foi menos eficiente devido à baixa produção de sacarose e baixo acúmulo de

nutrientes na parte aérea, proporcionando um decréscimo de valor do coeficiente de utilização biológica.

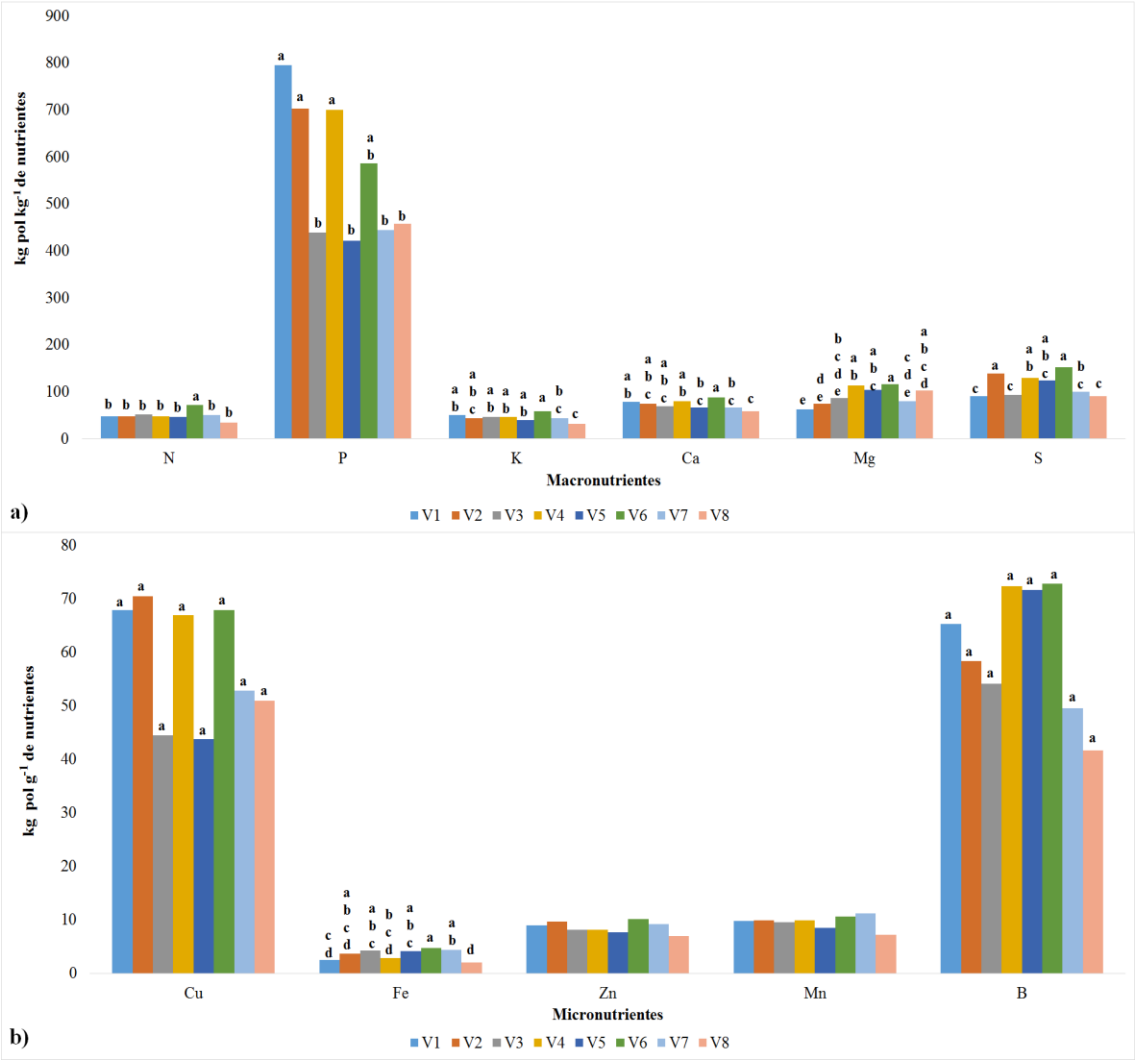

Figura 5 – Coeficiente de utilização biológico de macro (a) e micronutrientes (b) para produção de sacarose aparente (pol) em diferentes variedades de cana-planta irrigadas por gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra dentro do nutriente não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Gráfico vinculado às tabelas 5 e 6 do anexo.

Os valores de CUBPH dos macronutrientes em função das lâminas foram significativos a 0,05 pelo teste Tukey (Figura 6a) apenas para magnésio e enxofre, nos micronutrientes apenas cobre (Figura 6b). A L50 proporcionou maior eficiência na utilização de magnésio, obtendo 129,13 kg de pol kg^{-1}de Mg, a L100 foi a menos eficiente com somente 79,81 kg de pol kg^{-1}de Mg. Para o enxofre, a L75* foi mais eficiente com 134,56 kg de pol kg^{-1}de S, e a menos eficiente foi a L75.

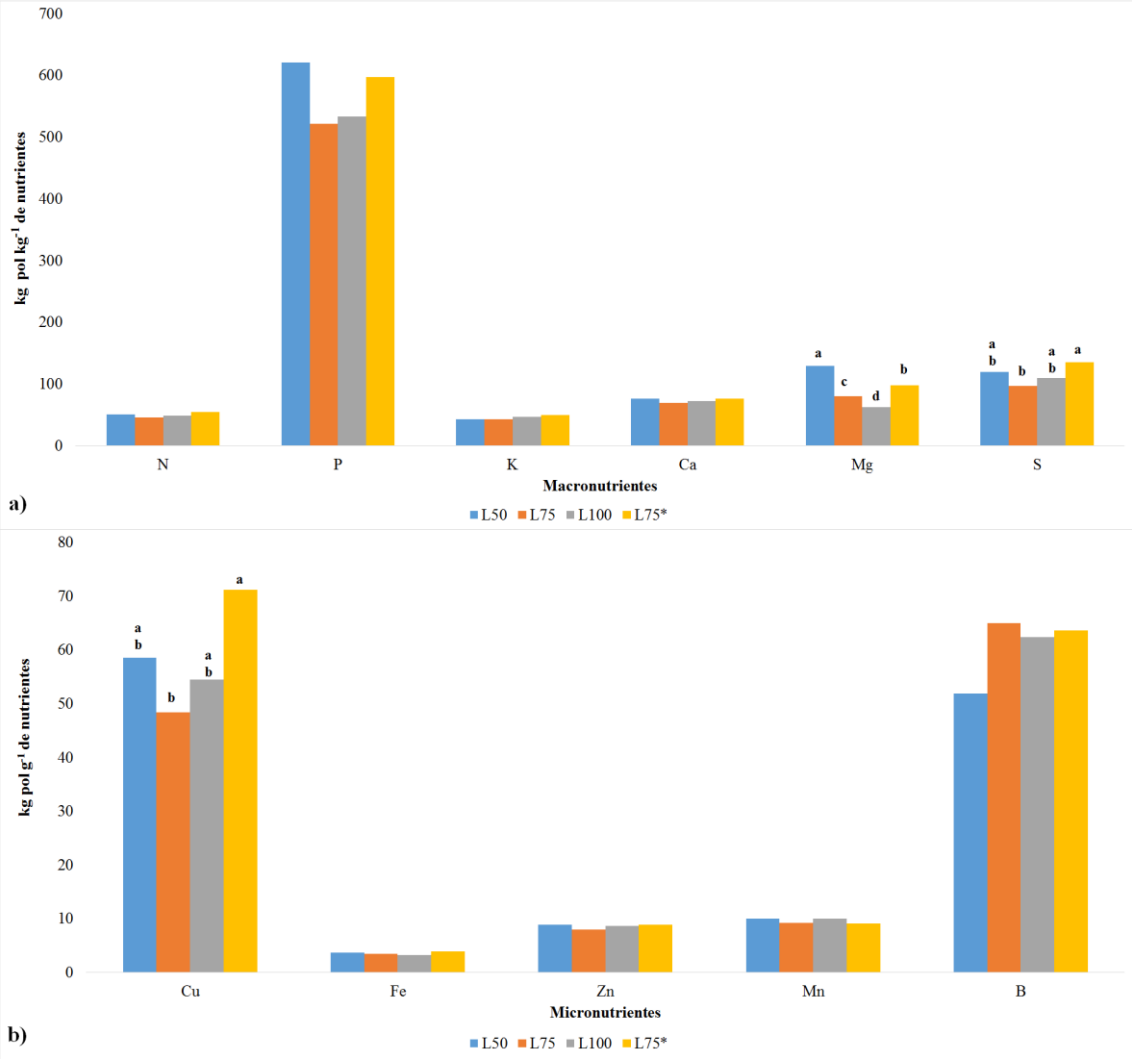

Figura 6 – Coeficiente de utilização biológico de macro (a) e micronutrientes (b) para produção de sacarose aparente (pol) em cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra dentro da lâmina não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Gráfico vinculado às tabelas 7 e 8 do anexo.

Para o coeficiente de utilização biológica para produção de ATR em função dos macronutrientes (Figura 7a) em diferentes variedades, apenas fósforo não foi significativo a 0,05 pelo teste Tukey, e para os micronutrientes (Figura 7b), apenas ferro e zinco. No geral, a RB 966928 foi mais eficiente na utilização de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro e zinco na produção de ATR, com médias de 0,48 kg ATR ton^{-1} kg N ha^{-1}, 0,39 kg ATR ton^{-1} kg K ha^{-1}, 0,60 kg ATR ton^{-1} kg Ca ha^{-1}, 1,35 kg de ATR kg^{-1} Mg ha^{-1} e 1,04 kg ATR ton^{-1} kg S ha^{-1}, 32,41 g ATR ton^{-1} g Fe ha^{-1}, 69,11 g ATR ton^{-1} g Zn ha^{-1}. Em contrapartida, a CTC 15 foi a menos eficiente na utilização de todos os macro e micronutrientes.

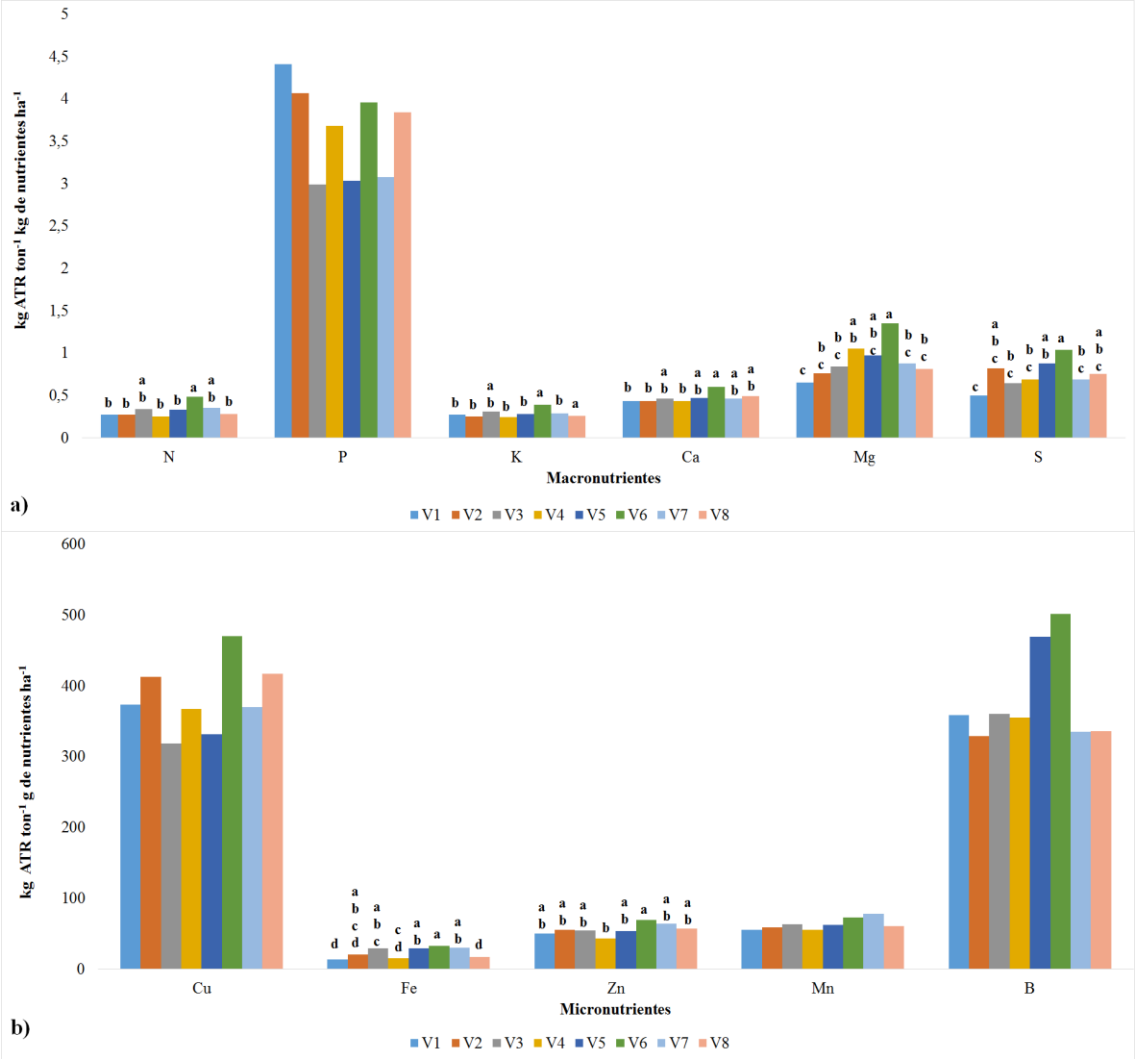

Figura 7 – Coeficiente de utilização biológico de macro (a) e micronutrientes (b) para produção de açúcares totais recuperáveis (ATR) em diferentes variedades de cana-planta irrigadas por gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra dentro do nutriente não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Gráfico vinculado às tabelas 9 e 10 do anexo.

Na Figura 8, o CUBATR dos macronutrientes em função das lâminas não foi significativo apenas para fósforo (Figura 8a), nos micronutrientes todos obtiveram significância (Figura 8b). A L50 proporcionou maior eficiência na utilização de macro e micronutrientes, produzindo em média, 0,44 kg ATR ton^{-1} kg N ha^{-1}, 0,37 kg ATR ton^{-1} kg K ha^{-1}, 0,65 kg ATR ton^{-1} kg Ca ha^{-1}, 1,27 kg ATR ton^{-1} kg Mg ha^{-1}, 1,04 kg ATR ton^{-1} kg S ha^{-1}, 522,13 g ATR ton^{-1} g Cu ha^{-1}, 33,22 g ATR ton^{-1} g Fe ha^{-1}, 77,00 g ATR ton^{-1} g Zn ha^{-1}, 88,79 g ATR ton^{-1} g Mn ha^{-1}, 448,15 g ATR ton^{-1} g de B ha^{-1}. A L100 foi a menos eficiente para todos os macronutrientes e para ferro, zinco e manganês, para cobre a menos eficiente foi a L75.

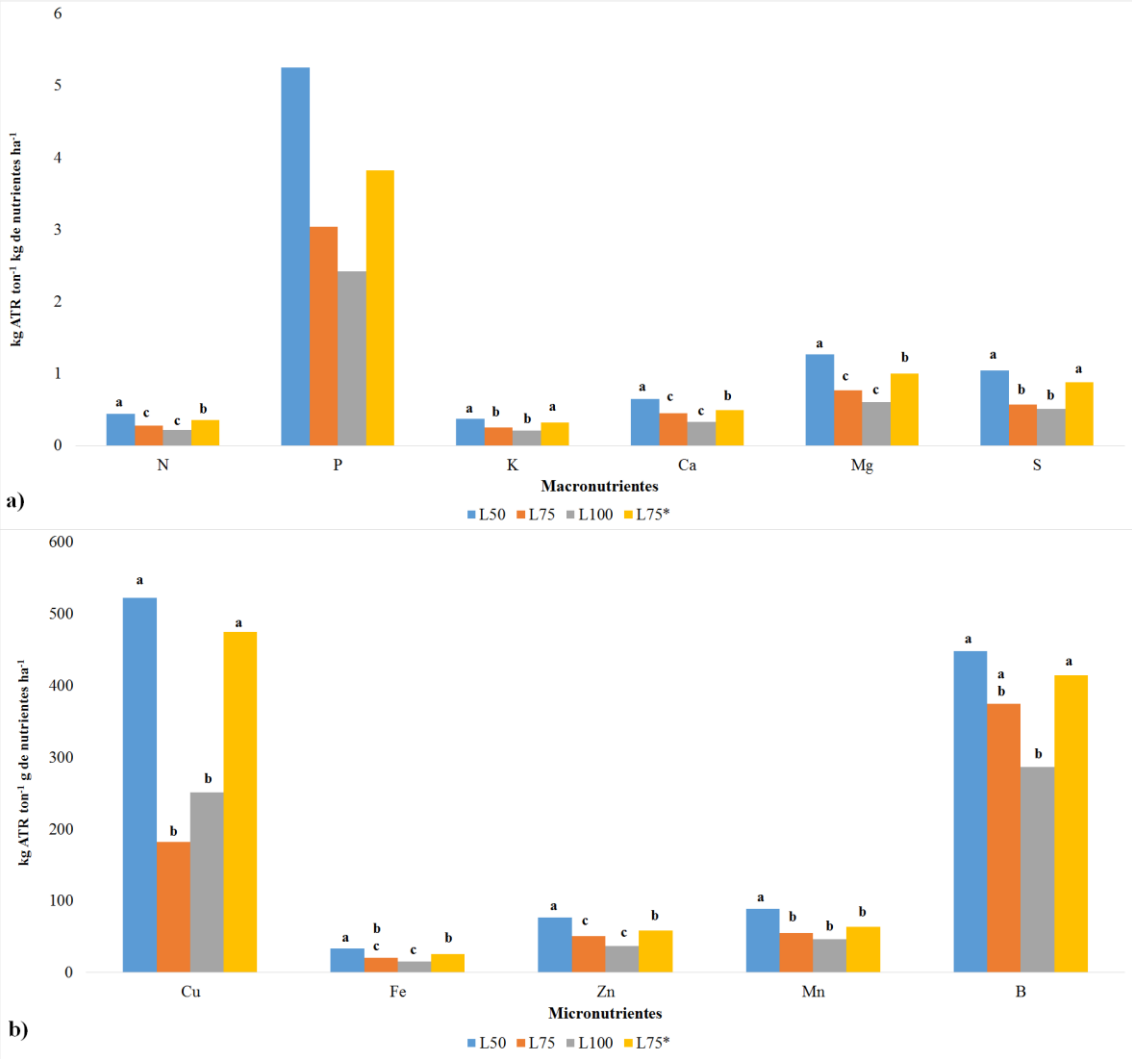

Figura 8 – Coeficiente de utilização biológico de macro (a) e micronutrientes (b) para produção de açúcares totais recuperáveis (ATR) em cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra dentro da lâmina não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Gráfico vinculado às tabelas 11 e 12 do anexo.

Conforme Figura 9 o coeficiente de utilização biológica para produção de BSPA dos macronutrientes (Figura 9a) em função das variedades, apenas potássio e cálcio não foram significativos. Para os micronutrientes (Figura 9b), apenas zinco e manganês. As RB 867515, RB 931011 e RB 966928 não diferiram entre si para CUBBSPAN, mas esta última obteve maior média 196,29 kg BSPA kg^{-1} N, a menos eficiente foi a NCO 376 com 148,08 kg BSPA kg^{-1} N. Soriano (2007) observou que a RB867515 mostrou baixa eficiência de utilização de N, o que contrasta com os resultados deste estudo.

Para fósforo, as CTC 15, CTC 17 e RB 92579 não diferiram entre si, a primeira citada obteve maior média de eficiência 2821,00 kg BSPA kg^{-1} P, a RB 966928 teve 1599,80 kg BSPA kg^{-1} P e menor eficiência. Da mesma forma que para N, os resultados de eficiência na

utilização do P por diferentes variedades de cana-de-açúcar encontradas por Soriano (2007), também, mostraram que a RB92579 e RB867515 foram mais eficientes na utilização do P.

A RB 92579 foi a mais eficiente na produção de produção de BSPA, cerca de 720 kg BSPA kg^{-1} Mg, e a RB 931011 a menos eficiente, já para CUB-BSPAS, esta foi a mais eficiente com 498,90 kg BSPA kg^{-1} S. Nos micronutrientes, o CUB-BSPACu das variedades não diferiram entre si, para ferro a RB 966928 obteve maior CUB-BSPA, 16,46 kg BSPA kg^{-1} Fe e a CTC 15 teve a menor eficiência. No CUB-BSPAB, a RB 931011 foi a mais eficiente com 236,96 kg BSPA kg^{-1} B.

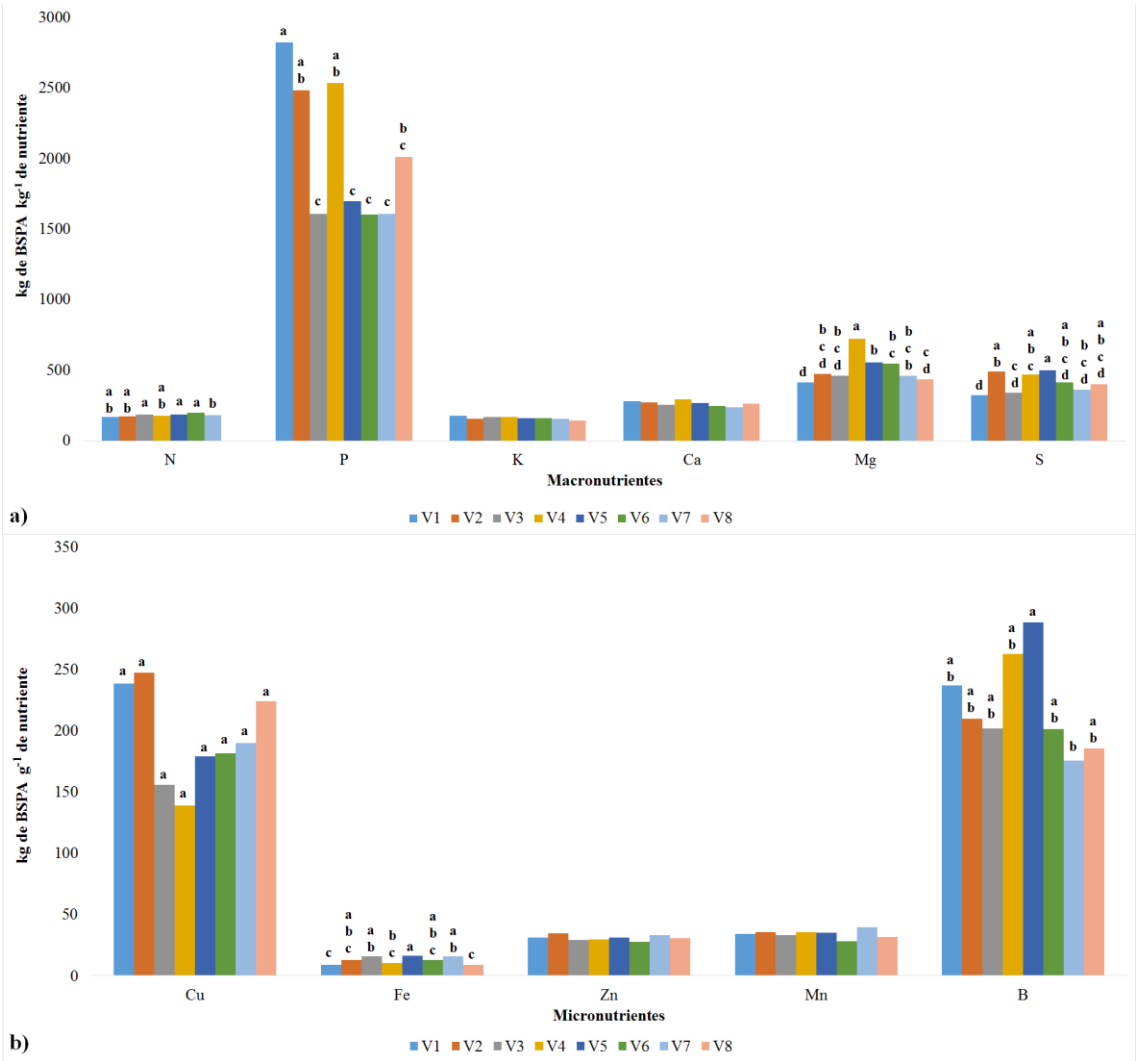

Figura 9 – Coeficiente de utilização biológico de macro (a) e micronutrientes (b) para produção de biomassa seca da parte aérea em diferentes variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra dentro do nutriente não diferiram entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Gráfico vinculado às tabelas 13 e 14 do anexo.

Na Figura 10, o CUB-BSPA dos macronutrientes em função das lâminas não foi significativo apenas para fósforo e cálcio (Figura 10a), nos micronutrientes, somente cobre foi

significativo (Figura 10b). A L75* proporcionou maior eficiência na utilização de macro e micronutrientes produzindo em média, 189,45 kg BSPA kg N ha^{-1}, 174,19 kg BSPA kg K ha^{-1}, 528,20 kg BSPA kg Mg ha^{-1}, 423,17 kg BSPA kg S ha^{-1} e 251,07 g BSPA g Cu ha^{-1}. A L75 foi a menos eficiente N, S e Cu, enquanto que L50 para K, e L100 para Mg.

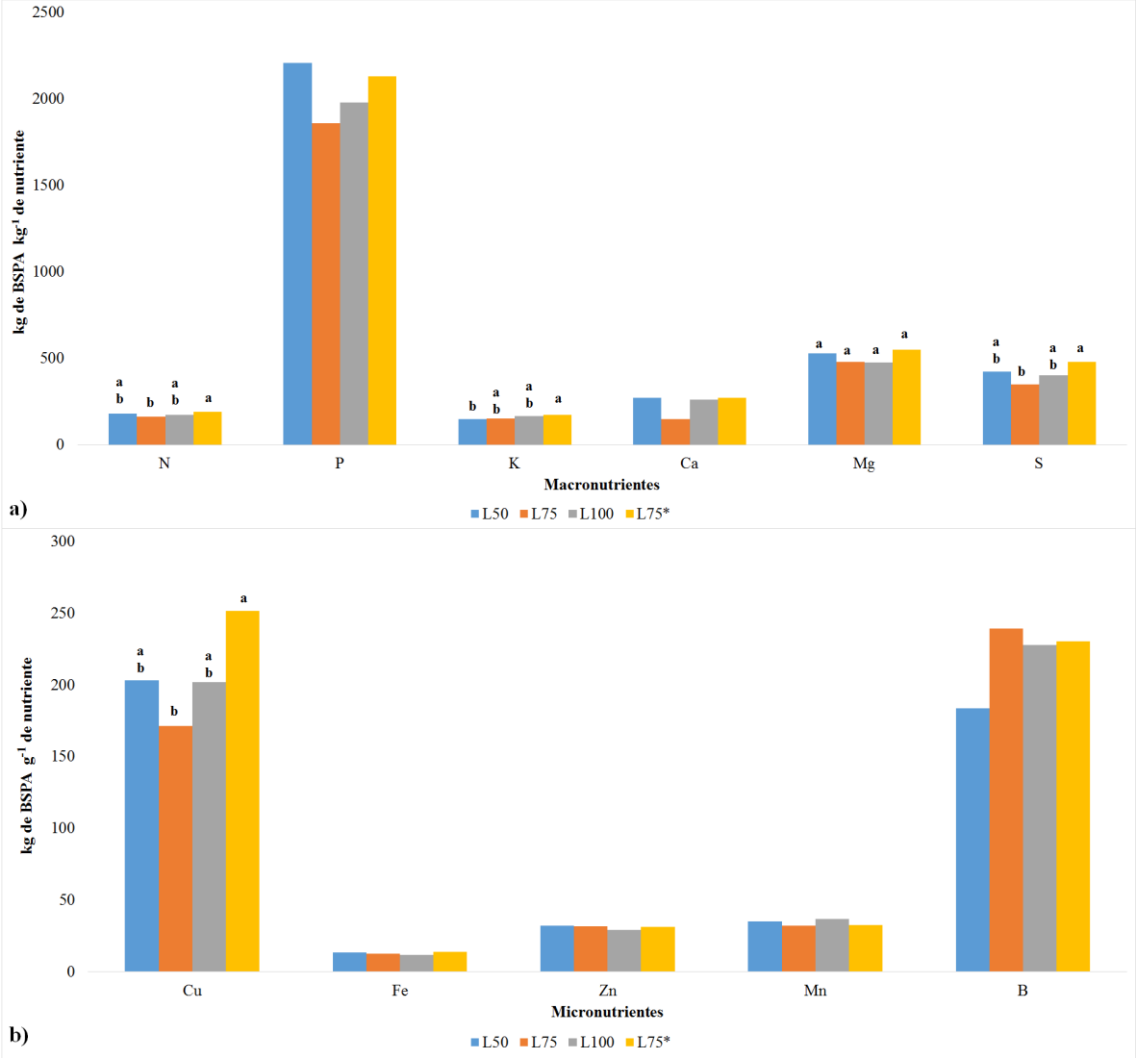

Figura 10 – Coeficiente de utilização biológico de macro (a) e micronutrientes (b) para produção de biomassa seca da parte aérea em cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra dentro da lâmina não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Gráfico vinculado às tabelas 15 e 16 do anexo.

Para o coeficiente de utilização biológica para RBA dos macronutrientes (Figura 11a) em função das variedades todos foram significativos, para os micronutrientes (Figura 11b), apenas zinco e manganês não foram significativos. No geral a RB 966928 foi mais eficiente na utilização de nitrogênio, potássio, cálcio, enxofre e ferro no rendimento bruto de açúcar, com médias de 72,53 kg açúcar kg N ha^{-1}, 59,45 kg açúcar kg K ha^{-1}, 89,55 g açúcar g Ca ha^{-1}, 154,03 kg açúcar kg^{-1}S ha^{-1} e 4,74 g açúcar g Fe ha^{-1}. A CTC 15 foi mais eficiente para

fósforo, a RB 92579 para magnésio e CTC 17 para Cu, com 823,59 kg açúcar kg P ha^{-1}, a 212,06 kg açúcar kg Mg ha^{-1} e 73,64 g açúcar g Cu ha^{-1}, respectivamente.

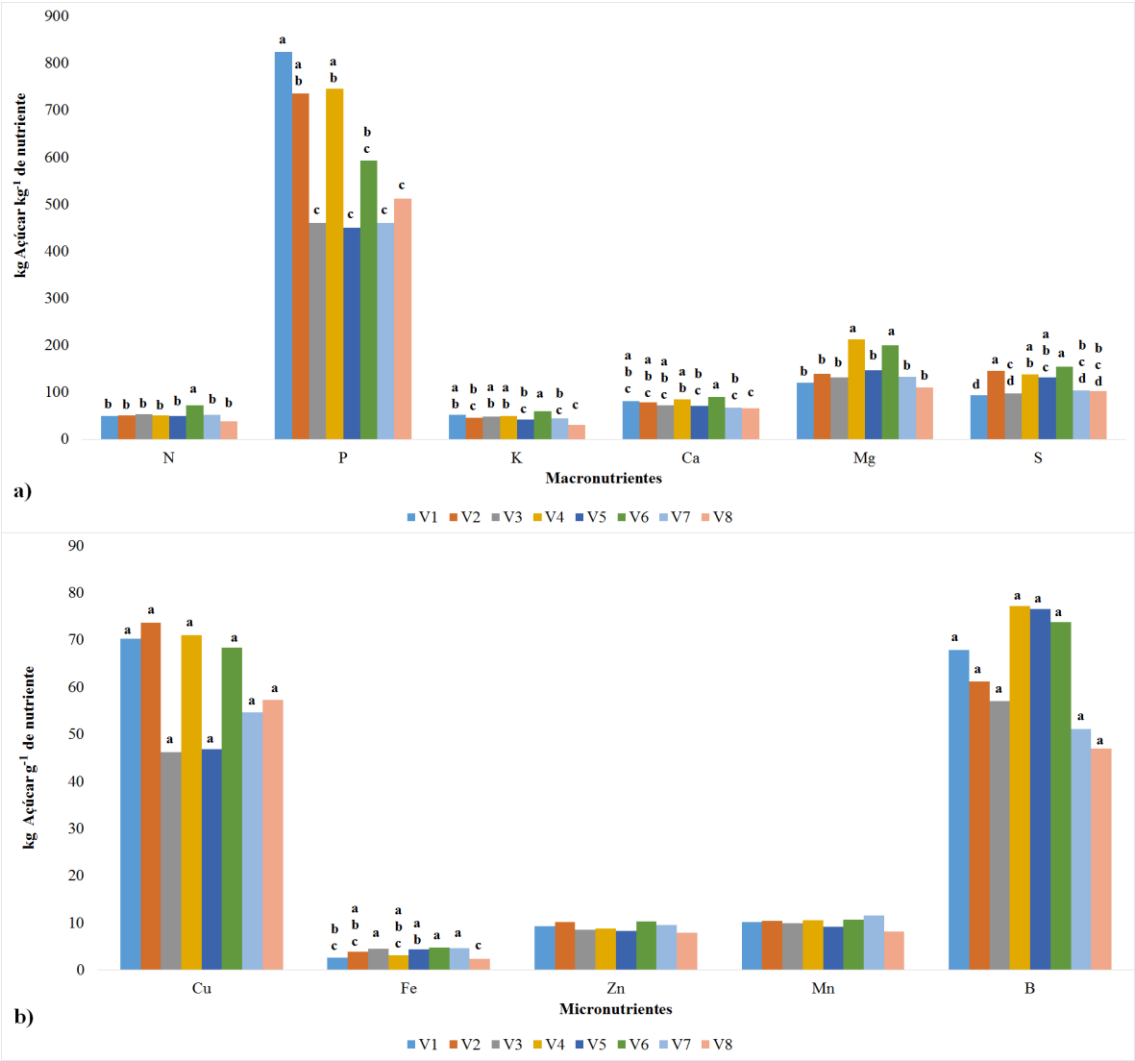

Figura 11 – Coeficiente de utilização biológico de macro (a) e micronutrientes (b) para rendimento bruto de açúcar (RBA) em diferentes variedades de cana-planta irrigadas por gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra dentro do nutriente não diferiram entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Gráfico vinculado às tabelas 17 e 18 do anexo.

Na Figura 12a, o CUBRBA dos macronutrientes em função das lâminas de irrigação foi significativo apenas para nitrogênio, magnésio e enxofre (Figura 12a), nos micronutrientes somente cobre foi significativo (Figura 12b). A L75* proporcionou maior eficiência na utilização de macro e micronutrientes, produzindo em média, 56,19 kg açúcar kg N ha^{-1}, 140,90 kg açúcar kg S ha^{-1}, e 74,37 g açúcar g Cu ha^{-1}. Para magnésio as lâminas não diferiram entre si.

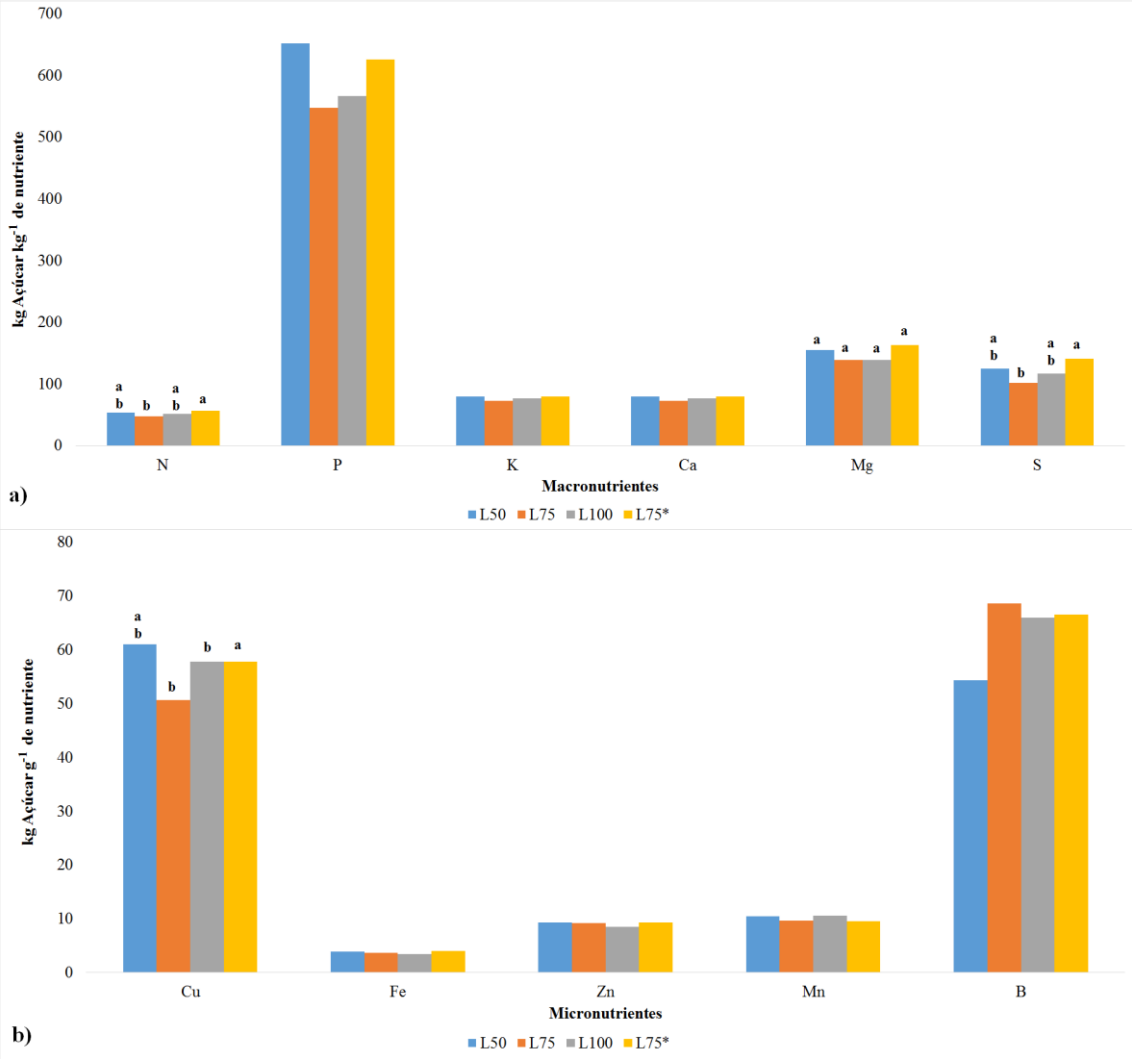

Figura 12 – Coeficiente de utilização biológico de macro (a) e micronutrientes (b) para rendimento bruto de açúcar (RBA) em cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial. *Médias seguidas pela mesma letra dentro da lâmina não diferiram entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Gráfico vinculado às tabelas 19 e 20 do anexo.

3.4 Conclusões

- De forma geral todos os nutrientes tiveram maior quantidade alocada no colmo e caldo.
- A variedade CTC 15 acumulou mais nutrientes que as demais.
- A variedade RB 966928 foi mais eficiente na produção de ATR e sacarose aparente, já a CTC 15 foi mais eficiente no rendimento bruto de açúcar e formação de biomassa na parte aérea.
- A lâmina de irrigação de 100% proporcionou maior acúmulo de nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar, já as lâminas de 50 e 75*% proporcionaram maior eficiência na utilização dos nutrientes.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, M.H.P.; OLIVEIRA, M.W.; SILVEIRA, L.C.I.; DAMASCENO, C.M.; MENDES, L.C. Acúmulo e alocação de nutrientes pela RB72454 no ciclo da cana-planta. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002. Pernambuco: STAB. **Anais…** Pernambuco: STAB, 2002. p. 234-238.

CIIAGRO: Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. http://www.ciiagro.sp.gov.br/sr_agromet.html. Acesso em: mar 2016.

COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB835486 e SP813250. **STAB. Açúcar, Álcool & Subprodutos,** Piracicaba, v. 24, n. 5, p. 32-36, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar:** Quarto levantamento. Brasília, 2016. p.1-25.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas:** princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

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

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

KORNDORFFER, G.H.; VALLE, M.R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P.C.O. Avaliação do nitrogênio da uréia pela cana-planta. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 223- 226, 1997.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A**. Avaliação do estado nutricional das plantas**. Princípios e aplicações, 2.ed. Piracicaba:Potafos, 1997. 319 p.

MENDES, L.C. **Eficiência Nutricional de Cultivares de Cana-de-açúcar.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 46p.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.F.; OLIVEIRA, R.I.; FREIRE, M.B.G.S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S.A.M. Extração e exportação de nutrientes em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, M.W.; MENDES, L.C.; BARBOSA, M H.P.; VITTI, A.C.; FARIA, R.O. Avaliação do potencial produtivo de sete variedades de cana-de-açúcar sob irrigação complementar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 25., SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO,8., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, 2002. v. 1, p. 95
ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR. Superintendência geral, 1983. 369p.

ORLANDO FILHO. J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JUNIOR, E. **Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do estado de São Paulo**. PLANAULSUCAR, Piracicaba: fev. 1980. p. 1-128. (Boletim Técnico, n. 2)

Ribeirão Preto: SBCS, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto-SP: SBCS, 2003. v.1 (CD-ROM).
ROZANE, D. E. Acúmulo de matéria seca e de sacarose em cana-de-açúcar adubada com diferentes doses de N. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29.

SILVA, L.C. **Análise de crescimento e acúmulo nutrientes de sete variedades de cana-de-açúcar na Região de Cururipe**. 2007. 80p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal Alagoas, Maceió, 2007.

SILVA, V.P.R.; GUEDES, M.J.F.; LIMA, W.F.A.; CAMPOS, J.H.B.C. Modelo de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, no semiárido do Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande,** v.6, n.1, p. 83-87, 2002.

SORIANO, H.L. **Extração e eficiência na utilização de macro e micronutrientes por variedades RB de cana-de-açúcar.** 22p. Monografia - (Graduação). Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2007.

VASCONCELOS, A.C.M.; GARCIA, J.C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, Piracicaba. 110, p 1-5p, junho, 2005 (Encarte Técnico).

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, Piracicaba. 97, p. 1-16, 2002 (Encarte Técnico).

4 DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE PRIMEIRA SOQUEIRA DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADAS VIA GOTEJAMENTO

Resumo

A avaliação do sistema radicular de uma cultura pode ser considerada fundamental no diagnóstico de sistemas de manejo que visam aperfeiçoar as produtividades agrícolas. Deste modo este trabalho teve por objetivo avaliar a produção de biomassa de raiz, relação raiz: parte aérea e densidade radicular ao longo do ciclo segundo ciclo de cultivo de variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação. A pesquisa foi realizada na área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), localizado na Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (ESALQ/USP), em Piracicaba – SP, conduzido em casa de vegetação composta por três vãos conjugados, com área total de 400 m2, a cultura foi conduzida em solo da série "Sertãozinho, que é um Latossolo Vermelho Amarelo de textura franco-arenosa. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com três blocos completos com parcelas sub-subdivididas. Foram estudados três fatores, sendo o primeiro com quatro níveis e o segundo com oito e o terceiro com três níveis (4x8x4), totalizando assim 128 tratamentos, sendo eles: quatro níveis de irrigação ao longo do ciclo (75*, 100, 75 e 50% da demanda hídrica potencial), oito variedades comerciais de cana-de-açúcar (CTC 15, CTC 17, RB 867515, RB 92579, RB 931011, RB 966928, IAC 5000 e NCO 376) e quatro coletas ao longo do ciclo. Para determinação da massa de raiz, logo após serem coletadas as amostras foram lavadas em água para retirada de todo o solo, em seguida foram colocadas para secar em estufa a 65ºC por 72 horas, posteriormente as amostras foram pesadas para determinação da massa seca. A variedade RB 867515 obteve maior produção de biomassa e densidade radicular ao final do ciclo e consequentemente maior relação raiz parte aérea. A camada de 0-20 cm apresentou maior concentração de raiz. A lâmina de 50 % proporcionou maior produção de raiz.

Palavras-chave**:** *Saccharum* spp.; Irrigação; Raiz; Cana-soca;

Abstract

The evaluation of the root system of a crop can be considered essential in the diagnosis of management systems aimed at improving agricultural productivity. Thus this work was to evaluate the root biomass production, root relationship: shoot and root density in the second cycle cycle of cultivation of sugarcane varieties under the different irrigation. The survey was conducted in the experimental area of the Department of Biosystems Engineering (LEB), located in the School of Agriculture "Luiz de Queiroz" (ESALQ / USP), in Piracicaba - SP, conducted in the greenhouse consists of three adjoining spans, with total area of 400 m2, the culture was conducted in soil series "Sertãozinho, which is a Yellow Oxisol sandy loam texture. The experimental design was a randomized complete block design with three complete blocks with sub-split plot. Three factors were studied, the first four levels and the second with eight and the third with three levels (4x8x4), totalizing 128 treatments, which are: four levels of irrigation throughout the cycle (75*, 100, 75 and 50% of potential water demand), eight commercial varieties of sugarcane (CTC 15, CTC 17, RB 867515, RB 92579, RB 931011, RB 966928, IAC 5000 and NCO 376) and four collections throughout the cycle. To determine the root mass, after the samples were collected were washed in water to remove all soil, and then were placed to dry in an oven at 149°F for 72 hours, then the samples were weighed to determine the dry mass. The variety RB 867515 obtained higher biomass and root

density at the end of the cycle and consequently higher ratio root shoots. The 0-20 cm showed the highest concentration of roots. The irrigation level of 50% the highest yield of root.

Keywords: *Saccharum* spp.; Irrigation; Root; Cane ratoon

4.1 Introdução

O desenvolvimento do sistema radicular é típico de cada variedade, havendo crescimento acumulativo do crescimento radicular durante os ciclos da cultura, da cana-planta para as socas sucessivas, sendo que a morte ou a renovação do sistema radicular não é causada pela colheita da cultura e sim pela deficiência hídrica, independente da fase de desenvolvimento (AGUIAR, 1978; VASCONCELOS, 2002b). ALVAREZ et al. (2000) também constataram que as diferenças de quantidade de raízes de cana de um ano para o outro foram devidas aos fatores climatológicos.

De acordo com FANTE JUNIOR (1999) a avaliação do sistema radicular de uma cultura pode ser considerada fundamental no diagnóstico de sistemas de manejo que visam aperfeiçoar as produtividades agrícolas, sendo que a distribuição das raízes no solo é resultante de uma série de processos complexos e dinâmicos, que incluem as interações entre ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento.

Segundo SCALOPPI (1986), o conhecimento da profundidade efetiva do sistema radicular permite a aplicação de lâminas de irrigação variáveis com o estágio da cultura. Desta forma, as informações sobre o sistema radicular auxiliam no cálculo da lâmina de irrigação mais adequada. Conforme MARTINS et al. (2007), a aplicação da água de irrigação em excesso pode acarretar a problemas de aeração do solo e à poluição de rios, lagos e lençol freático, devido à lixiviação de elementos tóxicos e nutrientes; por outro lado, em quantidade insuficiente pode resultar em estresse hídrico da cultura e afetar o crescimento e produção esperada das plantas. Desta maneira, o manejo adequado da água de irrigação é uma ferramenta fundamental na sustentabilidade do agroecossistema.

O estudo do sistema radicular apresenta-se, então, como um dos pilares para o entendimento das relações da água no sistema solo-planta-atmosfera, e, consequentemente, no manejo eficiente da irrigação. ATKINSON (2000) afirma que, das características mensuráveis das raízes, o comprimento da raiz relaciona-se com o potencial de absorção de água e nutrientes do solo, assim como a massa radicular relaciona-se com o estoque ou alocação total de material subterrâneo e dos nutrientes acumulados; e o volume radicular relaciona-se com o volume de solo ocupado pelas raízes.

Deste modo, este estudo teve por objetivo avaliar a produção de biomassa de raiz, relação raiz: parte aérea e densidade radicular ao longo do segundo ciclo de cultivo de variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação por gotejamento superficial.

4.2 Material e métodos

O experimento desenvolvido é parte integrante do projeto de pesquisa FAPESP 2012/50083-7: "*Produtividade da Água em Biomassa e Energia para Variedades de Cana-de-açúcar em Função dos Níveis de Irrigação: Experimentação e Simulação*", aprovado em edital específico do Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE) junto à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Assim, a metodologia adotada e os resultados apresentados foram definidos e redigidos em comum acordo, seguindo as cláusulas do Termo de Convênio de Cooperação firmado entre FAPESP, Odebrecht Agroindustrial (empresa parceira) e a Universidade de São Paulo - USP (Instituição sede do projeto).

A pesquisa foi realizada na área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), localizado na Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (ESALQ/USP), em Piracicaba – SP (Figura 1). Com coordenadas geográficas 22º 43' 30" de latitude Sul, e 47º 38' 00" de longitude Oeste, e altitude de 546 m.

O experimento foi conduzido em infraestrutura do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Engenharia da Irrigação (INCT-EI), com base em uma casa de vegetação (ambiente protegido), composta por três vãos conjugados, com área total de 400 m^2 e altura do pé-direito de 5,2 m, cobertura plástica transparente (Ginegar Plastic Products® - Kibbutz Ginegar, Israel) e laterais fechadas com tela "sombrite" preta, com aproximadamente 50% de interceptação da radiação global. A estrutura é provida de um total de 396 vasos (parcelas) em concreto armado (333 litros $vaso^{-1}$) assentados sobre base de concreto. Uma estufa anexa (Estufa de Apoio) com aproximadamente 110 m^2 também foi utilizada para abrigar os quadros de comandos do sistema de irrigação, conjuntos moto-bombas, sistemas de aquisição de dados (dataloggers), além de servir de apoio na realização das análises, colheita e armazenamento do material coletado.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com três blocos completos com parcelas sub-subdivididas. Foram estudados três fatores, sendo o primeiro com quatro níveis e o segundo com oito e o terceiro com quatro níveis (4x8x4), totalizando

assim 128 tratamentos, sendo eles: 4 níveis de irrigação ao longo do ciclo (75*, 100, 75 e 50% da Demanda Hídrica potencial - DHp), 8 variedades comerciais de cana-de-açúcar e 4 coletas ao longo do ciclo. A 75* foi uma lâmina com volume de água variável, mas similar ao do nível de 75% da DHp.

Para o primeiro fator, os níveis de irrigação adotados foram determinados tomando como referência à demanda hídrica potencial de cada variedade, mantendo-se a umidade do solo do nível de referência (100%) sempre próxima a capacidade de campo (θcc); os demais níveis representaram 75*%, 75% e 50% da lâmina de referência, ou seja, do tratamento que visava atender a toda demanda evapotranspirométrica das variedades. A diferenciação dos níveis de irrigação iniciou-se após a fase de intenso perfilhamento (60 dias após a colheita), tomando-se como fase crítica na determinação da produção (INMAN-BAMBER, 2004).

Quanto ao fator variedades, buscou-se trabalhar com variedades comerciais que representassem os três principais programas de melhoramento genético atuantes no país, sendo eles: a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético – RIDESA, o Centro de Tecnologia Canavieira – CTC e o Instituto Agronômico de Campinas – IAC. Adicionalmente, optou-se por inserir dentre as variedades nacionais, uma representante sul africana, tendo em vista que este material genético tem sido largamente utilizado em experimentos que subsidiam a modelagem agrícola em cana-de-açúcar. As variedades utilizadas no experimento foram CTC 15 (CTC 15), CTC 17 (CTC 17), RB 867515 (RB 867515), RB 92579 (RB 92579), RB 931011 (RB 931011), RB 966928 (RB 966928), IAC 5000 (IAC 5000) e NCO 376 (NCO 376).

O terceiro fator refere-se às épocas de coleta, sendo realizadas uma a cada 4 meses.

Para adequar a quantidade de vasos às características e ao número total necessário para as parcelas, os 132 vasos (volume de 1,0 m^3) instalados na estufa foram subdivididos em três partes iguais, totalizando 396 vasos menores (Parcelas), com volume aproximado de 0,33 m^3 e dimensões de 1,04 x 0,41 x 0,75 m de largura, comprimento e profundidade, respectivamente. A divisão foi realizada com a inserção de placas de PVC e lonas plásticas dupla face devidamente colada nas laterais do vaso com cola tipo silicone. No fundo do vaso foi colocado uma camada de pedra brita com 0,10 m de espessura, revestida por manta geotêxtil (Bidim), para facilitar a drenagem e também isolar as parcelas.

O enchimento dos vasos foi realizado com o auxílio de carrinho de mão e a quantidade de solo alocada em cada parcela foi igual ao seu volume. Após o processo de enchimento, todas as parcelas receberam irrigação, de modo a promover a acomodação do solo, tendo em

seguida sido realizada a complementação necessária para que a altura final no interior do vaso fosse de aproximadamente 0,60 m.

A cultura foi conduzida em solo da série “Sertãozinho, que é um Latossolo Vermelho Amarelo de textura franco arenosa, cultivados com duas mudas de cana-de-açúcar. Foram coletadas amostras simples em todas as 396 parcelas da estufa, na camada de solo entre 0 e 0,30 m. Como o solo havia sido homogeneizado antes do transporte para a estufa, o volume coletado, teoricamente, representou o volume total de solo presente no vaso. As amostras simples foram agrupadas em três amostras compostas correspondentes aos três blocos descritos no delineamento experimental. Nas Tabelas 4.1 e 4.2 estão descritos os resultados dos teores de macro e micronutrientes encontrados em cada um dos três blocos da estufa no início do ciclo de cultivo.

Tabela 4.1 – Resultado da análise química do solo para macronutrientes realizada nos três blocos do experimento para o segundo ciclo de cultivo da cana-de-açúcar

Bloco	pH	M.O.	P_{resina}	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B.	CTC	Sat. bases	m	S
	$CaCl_2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----------mmol$_c$ dm^{-3}----------							---------%---------		mg dm^{-3}
1	5,3 c	16,8	23,6 c	0,4 a	21,8 d	5,0 c	22,2	0,0	27,2	49,3	54,8 c	0,1	33,8 d
2	5,2 c	18,3	25,0 c	0,6 a	23,0 d	6,4 c	23,7	0,0	30,3	54,0	55,8 c	0,0	40,3 d
3	5,5 c	17,6	22,3 c	0,3 a	23,0 d	7,3 c	20,3	0,0	30,5	50,8	60,1 c	0,0	37,8 d

Potencial hidrogeniônico (pH); matéria orgânica (M.O.); fósforo (P_{resina}); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); hidrogênio+alumínio (H+Al); soma de bases (S.B.); capacidade de troca catiônica (CTC); enxofre (S). Letras minúsculas indicam as classes de teores de nutrientes: a - teores muito baixos; b - teores baixos; c - teores médios; d - teores altos; e - teores muito altos. IAC (2014) e Raij et al. (1997)

Tabela 4.2 – Resultado da análise química do solo para macronutrientes realizada nos três blocos do experimento para o segundo ciclo de cultivo da cana-de-açúcar

Bloco	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	---------- *DTPA** ----------				*(água quente)*
	---------- *mg dm^{-3}* ----------				
1	0,6 c	39,2 d	2,1 d	3,6 c	0,5 c
2	0,6 c	36,8 d	2,1 d	4,1 c	0,5 c
3	0,6 c	29,6 d	2,4 d	3,8 c	0,5 c

Cobre (Cu); ferro (Fe); zinco (Zn); manganês (Mn); boro (B). Letras minúsculas indicam as classes de teores de nutrientes: a - teores muito baixos; b - teores baixos; c - teores médios; d - teores altos; e - teores muito altos, segundo IAC (2014) e Raij et al. (1997). *****ácido dietilenotriaminopentaacético

Comparado ao primeiro ciclo de cultivo os teores de matéria orgânica aumentaram em torno de 50%, e os níveis de fósforo passaram de teores altos a teores médios, assim com potássio que de teores altos atingiu teores muito baixos. Já os níveis de magnésio passaram a teores muito altos. Os teores de enxofre que já eram muito altos, aumentaram em torno de 65 %, provavelmente pela qualidade da água utilizada na irrigação, a água é proveniente da rede de abastecimento da cidade e tem seus níveis de sulfato muito elevados.

Para caracterização físico-hídrica do solo, foram coletadas amostras indeformadas, com o auxílio de trado tipo Uhland equipado com cilindros de aço inox de 50 cm³. As

amostras foram retiradas em três profundidades, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, respectivamente. Foram amostradas aleatoriamente quatro parcelas em cada bloco, resultando em 12 pontos de coleta e um total de 36 amostras na estufa. A determinação das curvas de retenção de água no solo se deu através de mesa de tensão (para tensões de 1, 2, 4 e 6 kPa) e extratores de "Richards" com placas porosas (para tensões de 10, 30, 50, 100, 500, 1000 e 1500 kPa). Realizaram-se também determinações da densidade global (Ds), densidade das partículas (Dp), porosidade total (PT) e análise textural. A caracterização físico-hídrica do solo pode ser observada na Tabela 4.3 e os parâmetros do modelo de van Genuchten para a curva de retenção de água do solo na Tabela 4.4.

Tabela 4 – Caracterização físico-hídrica do solo

Camada (m)	θ_{cc}	θ_{pmp}	CAD (mm)	D_s	D_p	PT (%)	Frações granulométricas		
							Areia	Silte	Argila
	$cm^3\ cm^{-3}$			$g\ cm^{-3}$			%		
0,00 – 0,20	0,224	0,161	22,10	1,61	2,69	40,1	72,29	8,00	19,71
0,20 – 0,40	0,226	0,163	19,62	1,58	2,69	41,2	72,03	8,04	19,93
0,40 – 0,60	0,229	0,166	18,49	1,54	2,69	42,7	72,03	7,69	20,28

θ_{cc}: umidade na capacidade de campo (correspondente ao potencial mátrico (ψ_m) de 4,85 kPa). θ_{pmp}: umidade no ponto de murcha permanente (correspondente ao potencial mátrico (ψ_m) de 1500 kPa). CAD: capacidade de água disponível. D_s: densidade do solo. D_p: densidade de partículas do solo. PT: porosidade total do solo.

Tabela 4.4 – Valores de umidade de saturação (θ_s) e residual (θ_r), e dos parâmetros empíricos (α, n e m) do modelo de van Genuchten (1980)

Camada (m)	θ_s ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_r ($cm^3\ cm^{-3}$)	a (1/cm)	m	n
0,00 – 0,20	0,493	0,161	0,0674	0,4471	1,8224
0,20 – 0,40	0,489	0,163	0,0744	0,4328	1,7680
0,40 – 0,60	0,507	0,166	0,0736	0,4471	1,8137

As irrigações foram realizadas via sistema de gotejamento superficial, com emissores equipados com sistema autocompensante, anti-sifão e anti-drenante. Cada gotejador possuía vazão de 1,6 L h^{-1} e foram instalados cinco emissores por parcela, sendo estes espaçados em 0,20 m, totalizando assim uma vazão de 8 L h^{-1} por parcela.

O tubo gotejador, com diâmetro interno de 16 milímetros, foi instalado no centro da parcela e para sua fixação fez-se necessário a adoção de estacas plásticas que permitissem a manutenção do tubo com os emissores voltados para cima, de modo a evitar o entupimento por partículas sólidas (FARIAS, 2013). A alimentação dos tubos gotejadores foi realizada por meio de microtubos que conduziam a água que supria o sistema. Cada uma das parcelas experimentais foi irrigada individualmente, com controle da água de irrigação realizado por meio da abertura e fechamento de micro registros instalados na estufa de apoio, localizada ao lado da estufa principal. Para facilitar o controle da irrigação, os micro registros foram

agrupados em um painel de controle, o qual permitia o monitoramento simultâneo de todos os controladores.

Para a pressurização do sistema foi instalado um conjunto motobomba KSB HYDROBLOC C1010® com potência do motor de 1,0 cv e pressão de 20,0 mca para vazão de 3,2 m³ h-1. A motobomba utilizada apresenta curva característica (vazão x pressão) com pouca variação de pressão na faixa de vazão que foi utilizada para o experimento. Assim, mesmo com todas as parcelas abertas (3,2 m³ h^{-1}) ou apenas um tratamento aberto (três parcelas abertas com vazão de 0,024 m³ h^{-1}), a variação de pressão foi mínima, não exigindo grandes mudanças na abertura do registro de retorno.

A água utilizada na irrigação (Tabela 4.5) foi armazenada em duas caixas d'água com volume de 5,0 m³. Também foi acoplada ao sistema de irrigação duas motobombas, modelo GRUNDFOS CM3® com potência de 0,75 e 1,0 cv e carcaças e rotores em aço inox, que foram utilizadas para pressurizar as soluções fertilizantes/defensivas quando foram realizadas as quimigações (fertirrigação/insetigação/fungigação). Para o preparo e armazenamento da solução fertilizante durante as aplicações, foi utilizada uma caixa d'água com capacidade de 0,5 m³, instalada paralelamente ao sistema no interior da estufa de apoio. O sistema de irrigação também contava com chave de partida e sistema de filtragem de discos.

Tabela 4.5 – Resultados da análise físico-química da água utilizada para irrigação (continua)

Parâmetros	**Unidades**	**Valores**	**Valores Normais ****
Condutividade elétrica	dS m^{-1}	0,30	0 – 3
Sais dissolvidos totais	mg L^{-1}	192,00	0 – 2000
Cálcio	$mmol_c$ L^{-1}	0,71	0 – 20
Magnésio	$mmol_c$ L^{-1}	0,16	0 – 5
Sódio	$mmol_c$ L^{-1}	0,57	0 – 40
Potássio	$mmol_c$ L^{-1}	0,08	-
Cloreto	$mmol_c$ L^{-1}	0,34	0 – 30
Sulfato	$mmol_c$ L^{-1}	1,02	0 – 20
Nitrato	$mmol_c$ L^{-1}	0,25	-
Carbonato	$mmol_c$ L^{-1}	0,23	0 – 0,1
Bicarbonato	$mmol_c$ L^{-1}	0,23	0 – 10
Nitrogênio-nitrato	mg L^{-1}	15,3	0 – 10
Nitrogênio amoniacal	mg L^{-1}	0,20	0 – 5
Fósforo	mg L^{-1}	0,01	0 – 1
Potássio	mg L^{-1}	3,20	0 – 2
Acidez (pH)	-	6,7	6,0 – 8,5
Relação de adsorção de sódio	-	0,39	0 – 15
Classificação	**C2S1**		

* Ayres e Westcot (1999)

Os sensores de solo instalados foram os tensiômetros, que serviram para o monitoramento do potencial mátrico do solo e subsequente manejo da irrigação. Os

tensiômetros foram instalados imediatamente após o transplantio das mudas nas parcelas, em três repetições das oito variedades que foram manejadas com tratamentos de lâmina de 100%, servindo como referência para o manejo dos demais níveis de irrigação. Uma bateria com três tensiômetros foi instalada no centro das parcelas e entre as duas plantas nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m, representando as camadas de 0,0-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, respectivamente.

Quanto aos sensores utilizados para o monitoramento dos elementos climáticos, estes foram instalados no centro da casa de vegetação, com o intuito de estimar a evapotranspiração de referência (ETo) pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), assim como auxiliar na interpretação dos resultados alcançados. Desta forma, foram monitorados a densidade de fluxo (W m^{-2}) da radiação solar global (Rg), através de piranômetro de silício (LI200X - Licor), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), através de sensor quântico (LI190SB - Licor) e radiação líquida (Rn), através de saldo radiômetro (NR^{LITE} - Campbell Sci.), assim como a temperatura do ar (ºC) e umidade relativa do ar (%), através de sensor Vaissala (HMP45C - Vaissala). Os sensores foram instalados no vão central em duas alturas (próximo ao teto da estufa e acima do dossel da cultura), e ligados a um datalogger (CR1000 - Campbell Sci.), armazenando-se os dados em intervalos de 15 minutos.

Os colmos que deram origem às mudas utilizadas na pesquisa foram obtidos junto a unidades experimentais que realizam o melhoramento genético das variedades adotadas neste estudo. Dessa forma, efetuaram-se coletas em campos do CTC (Piracicaba/SP), RIDESA (Araras/SP) e IAC (Ribeirão Preto/SP), com a garantia dos programas de origem de que se tratava de colmos propícios para produção das mudas, ou seja, idade entre 10 e 12 meses, sem problemas de sanidade e principalmente, com a identificação correta da variedade fornecida. A exceção ficou por conta da variedade sul-africana, que foi coletada na Estação de Cruzamentos do CTC em Camamu/BA, e não no seu programa de origem.

Dos colmos selecionados utilizou-se para o plantio apenas as gemas do terço médio de cada colmo, uma vez que é esta porção do colmo que apresenta as gemas mais uniformes. A metodologia de plantio utilizada foi semelhante à empregada e recomendada pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), denominada de sistema de Mudas Pré-Brotadas (MPB). Os mini-toletes foram plantados no dia 31 de janeiro de 2013. O transplantio das mudas foi realizado no dia 12 de março de 2013. Nesta data, as mudas se encontravam com altura média entre 0,30 e 0,40 m e de três a cinco folhas expandidas.

Foram transplantadas duas mudas por parcela, estas foram posicionadas no centro da parcela, garantindo que cada uma teria a mesma área de solo disponível (0,21 m^2 $planta^{-1}$). A

cova tinha profundidade média de 0,15 m. Assim, as mudas ficaram igualmente distribuídas com uma distância de 0,20 e 0,26 m das laterais da parcela e 0,52 m entre si. Previamente ao transplantio, o solo foi umedecido e teve sua umidade elevada para uma condição próxima a umidade da capacidade de campo, de forma a assegurar um melhor pegamento das mudas e também auxiliar na acomodação do solo revolvido para o transplantio, retirando possíveis bolhas de ar contidas entre o solo e as raízes.

O experimento foi colhido no dia 16 de fevereiro de 2014 (381 DAP) e, devido ao grande número de amostras, se estendeu até 27 de fevereiro de 2014 (392 DAP). Iniciando assim o segundo ciclo da cana-de-açúcar, objeto deste trabalho, a qual a metodologia continuou igual à citada acima.

Durante todo o ciclo da cultura as plantas foram constantemente monitoradas de modo a assegurar a sua sanidade, garantindo que os efeitos dos tratamentos impostos não sofressem influência de fatores não mensurados no experimento.

Para o controle de plantas daninhas, as medidas adotadas foram sempre preventivas, de modo a não permitir que houvesse competição entre as plantas de cana e plantas invasoras, que poderiam interferir, principalmente, no consumo hídrico da fase inicial de desenvolvimento das touceiras. As adubações foram realizadas via fertirrigação e aplicação foliar, não havendo diferenciação quanto à demanda nutricional inerente a cada variedade; todas foram adubadas com base na mesma recomendação, tomando-se o devido cuidado para que nenhuma das variedades fosse submetida a qualquer restrição de nutrientes. A quantidade de nutrientes aplicados durante o ciclo está discriminada na Tabela 4.5, sendo as adubações (fertirrigação e aplicação foliar) realizadas com periodicidade mensal. Os produtos comerciais utilizados foram cedidos pela Produquímica®, sendo eles ProAcqua Inicial, ProAcqua Crescimento, Ácido Húmico, Ever, Nitrato de Potássio, Nitrato de Magnésio, Octaborato de Sódio, Concorde, Triunfo, CanaMicros e Kellus Copper.

Tabela 4.5 – Quantidade total de nutrientes aplicados durante o segundo ciclo da cana-de-açúcar

N	K	Mg	B	Cu	Mn	Mo	Zn
			kg ha^{-1}				
210	283	32	5	1,20	0,80	0,70	6,08

Para as fertirrigações, os fertilizantes eram diluídos em aproximadamente 400 L de água, sendo esta solução injetada no sistema já pressurizado. Após a injeção de toda a solução

fertilizante, era feita a injeção de água "pura" para limpeza do sistema e melhor distribuição dos fertilizantes no solo.

A avaliação do estado nutricional das plantas foi realizada via análises de solução do solo, análises foliares e análises químicas do solo durante todo período experimental, estas ferramentas de monitoramento permitiram a adequada nutrição das plantas durante os dois ciclos de cultivo.

O manejo da irrigação foi realizado via solo, o qual buscou repor o volume de água consumido por cada uma das variedades estudadas. Para tanto, utilizou-se dados de tensão da água no solo, obtidos a partir de 72 tensiômetros instalados nas parcelas que receberam o tratamento de irrigação com lâmina de reposição igual a 100% da DHp. Os dados de tensão coletados a partir dos tensiômetros foram inicialmente transformados em potencial matricial da água no solo (ψ_m) (Equação 1), descontando-se a pressão equivalente à altura da coluna d'água existente no tensiômetro para cada profundidade medida. A pressão equivalente descontada foi de 3,0, 5,0 e 7,0 kPa para os tensiômetros instalados nas camadas de 0,00-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, respectivamente.

$$\Psi_m = L_t - h_c \tag{1}$$

em que:
ψ_m - potencial matricial da água no solo (kPa);
L_t - leitura do tensiômetro ou tensão da água no solo (kPa);
h_c - pressão equivalente à altura da coluna d'água no tensiômetro (kPa);

Após obter os dados do potencial matricial da água no solo (ψ_m) foi calculada a média entre as leituras dos três blocos, obtendo-se dessa forma, um valor de tensão para cada camada e para cada uma das variedades (24 valores de ψ_m). Com estes valores, foi estimada a umidade (θ), em $m^3\ m^{-3}$, através do modelo proposto por van Genuchten (1980) (Equação 2), que relaciona os valores de ψ_m com os respectivos valores de θ, utilizando os parâmetros característicos deste solo apresentados na Tabela 4.

$$\theta\ (\Psi_m) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1+(\alpha \cdot |\Psi_m|)^n]^m} \tag{2}$$

em que:
$\theta\ (\psi_m)$ - umidade volumétrica em função do potencial mátrico, em $m^3\ m^{-3}$;
θ_r - umidade volumétrica residual do solo, em $m^3\ m^{-3}$;
θ_s - umidade volumétrica do solo saturado, em $m^3\ m^{-3}$;
m e n - parâmetros de regressão da equação, adimensionais;
α - parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão, em kPa^{-1}; e
ψ_m - potencial mátrico, em kPa.

Assim, de posse dos dados de umidade estimados e a caracterização físico-hídrica do solo de cada camada (Tabela 3), foram calculadas as lâminas de irrigação necessárias para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo (θ_{cc}) para cada variedade do tratamento L100 (Equação 3).

$$L_x = (\theta_{cc} - \theta) \cdot Z \tag{3}$$

em que:
L_x - lâmina necessária para elevar a umidade da camada *x* até a capacidade de campo, em mm;
θ_{cc} - umidade volumétrica na capacidade de campo para a camada *x*, em $m^3\ m^{-3}$;
θ - umidade volumétrica atual estimada para a camada *x*, em $m^3\ m^{-3}$; e
Z - Espessura da camada *x*, em mm.

A somatória das lâminas necessárias de cada camada (Equação4) resultou na lâmina de irrigação a ser aplicada para cada variedade.

$$LI = L_{0,0-0,2} + L_{0,2-0,4} + L_{0,4-0,6} \tag{4}$$

em que:
LI - lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo, em mm;
$L_{0,0-0,2}$ - lâmina necessária para elevar a umidade da camada 0,0 a 0,2 m até a capacidade de campo, em mm;
$L_{0,2-0,4}$ - lâmina necessária para elevar a umidade da camada 0,2 a 0,4 m até a capacidade de campo, em mm; e
$L_{0,4-0,6}$ - lâmina necessária para elevar a umidade da camada 0,4 a 0,6 m até a capacidade de campo, em mm.

Para facilitar o manejo da irrigação, foi utilizada uma planilha elaborada no Software Microsoft Excel®, que tornou prática e rápida à determinação do tempo de irrigação para cada tratamento de lâmina imposto. Para o cálculo do tempo de irrigação (Equação 5), adotou-se a vazão do sistema e área de solo da parcela de 8 L h^{-1} e 0,43 m^2, respectivamente.

$$TI = \frac{LI \cdot A}{Q} \cdot 60 \tag{5}$$

em que:
TI - tempo de irrigação, em minutos;
LI - lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo, em mm;
A - área de solo da parcela, em m^2; e
Q - vazão do sistema, em L h^{-1}.

Dessa forma, a lâmina de irrigação de cada variedade foi adotada como lâmina de referência, bem como o tempo de irrigação necessário para que houvesse a reposição hídrica. Para a irrigação dos demais tratamentos (L50, L75 e L75*), foi calculada a fração do tempo de irrigação que deveria ser aplicada de acordo com o tratamento. A L75* foi uma lâmina com volume de água variável, mas similar ao do nível de 75% da DHp, de modo que, as

plantas instaladas nestas parcelas fossem irrigadas com lâminas cada vez mais restritivas até se igualar àquelas dos tratamentos com lâmina de 75%.

Durante o ciclo da cana-soca foram feitas quatro coletas de raízes com trado tipo caneco como volume de 726,3 cm^{-3}, a primeira aos 100 dias após o corte (DAC), a segunda 190 dias DAC, a terceira a 280 DAC e a quarta aos 370 DAC. Para que a amostra coletada representasse bem as condições do tratamento avaliado foi adotado o método de amostra composta, ou seja, cada amostra foi composta por 3 sub-amostras, estas sendo retiradas diagonalmente no sentido da parcela, amostrando um volume representativo para cada camada, sendo elas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, como representado na Figura 1.

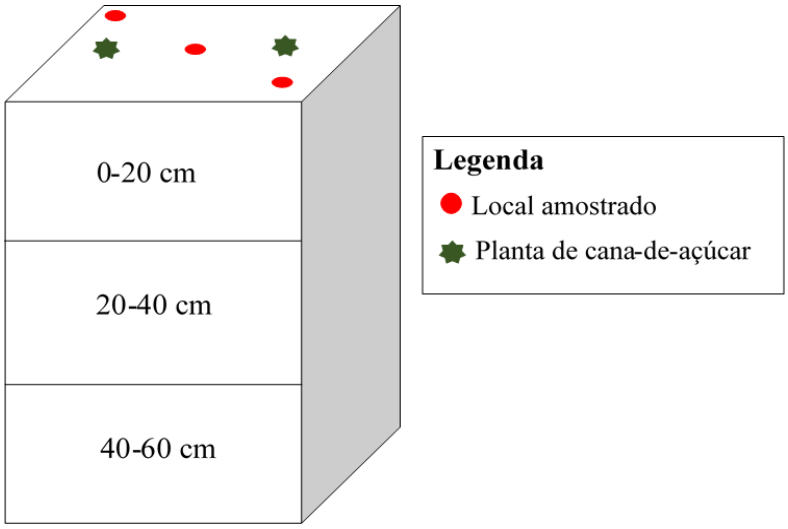

Figura 1 – Esquema de amostragem de raízes.

Para determinação da massa de raiz, logo após serem coletadas as amostras foram lavadas em água corrente sob peneira com malha de 1 mm para retirada de todo o solo, em seguida foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa a 65ºC por 72 horas, em seguida as amostras foram retiradas da estufa, deixadas à temperatura ambiente e pesadas em balança com precisão de 0,01 gramas para determinação da massa seca.

A densidade radicular foi obtida seguindo a eq. 6.

$$DR = \left(\frac{MSR}{3*VT}\right) \tag{6}$$

em que:
DR – densidade radicular, g dm^{-3};
MSR – massa seca de raiz da amostra, em g;
VT – volume do trado, dm^{-3}.

Obteve-se a massa de raiz de acordo com a eq. 7.

$$BRc = \frac{\frac{MSR*10000}{Ap}}{1000} \quad (7)$$

em que:
BRc – massa seca de raiz por camada, kg ha^{-1};
MSR – massa seca de raiz da amostra, em g;
Ap – área da parcela em m^2.

A relação raiz parte aérea foi calculada segundo eq. 8.

$$R/_{PA} = \frac{MSR}{MSPA} \quad (8)$$

em que:
R/PA – relação raiz-parte aérea, adimensional;
MSRp – massa seca de raiz , em kg ha^{-1};
MSPA – massa seca da parte aérea, em kg ha^{-1}.

Para as análises estatísticas adotou-se o software SAS 9.2. para realização das análises de variância com teste Tukey a 0,05 de significância.

4.3 Resultados e discussão

A variável biomassa de raiz foi significativa a 0,05 pelo teste Tukey apenas para variedades nas coletas a 100, 190 e 370 dias após o corte (DAC) (Figura 2a), já profundidade obteve significância em todas as coletas (Figura 2b). Na coleta aos 100 DAC, a RB 867515 diferiu das RB 92579, RB 931011, IAC 5000 e NCO 376 obtendo 2061,72 kg de raiz ha^{-1}, enquanto a menor produção foi obtida pela NCO 376 com 1171,12 kg ha^{-1}. Aos 190 DAC a CTC 15 diferiu apenas das RB 931011 e RB 966928 produzindo 3123,57 kg ha^{-1}, 1835,59 kg ha^{-1}e 1688,63 kg de raiz ha^{-1}, respectivamente. Aos 370 DAC a RB 867515 não diferi apenas da CTC 15, produzindo 4763,28 kg ^{1}de raiz ha^{-}, sendo que a RB 966928 obteve a menor produção, cerca de 2140 kg ha^{-1}.

Para produção de biomassa radicular em função de diferentes profundidades (Figura 2b), a camada de 0-20 cm de solo obteve a maior quantidade de raiz em todas as coletas, cerca de 1830 kg ha^{-1} aos 100 DAC, 2612,53 kg ha^{-1} aos 190 DAC, 2854,05 kg ha^{-1} aos 280 DAC e 3680,63 kg ha^{-1} aos 370 DAC, enquanto que na camada de 40-60 cm obteve menor produção de raiz em todas as coletas. Como observado nos dados, na camada de 0-20 cm obteve maior quantidade de raiz o que pode ter ocorrido por que o sistema de irrigação utilizado, o gotejamento aplica água em alta frequência e concentrada na camada superficial, fazendo com

que a planta não invista em aprofundamento de raiz. Além disso, a produção de raízes de cana-de-açúcar se torna ao longo dos ciclos mais superficiais em razão das gemas laterais dos perfilhos terciários, quaternários, em diante (CASAGRANDE, 1991).

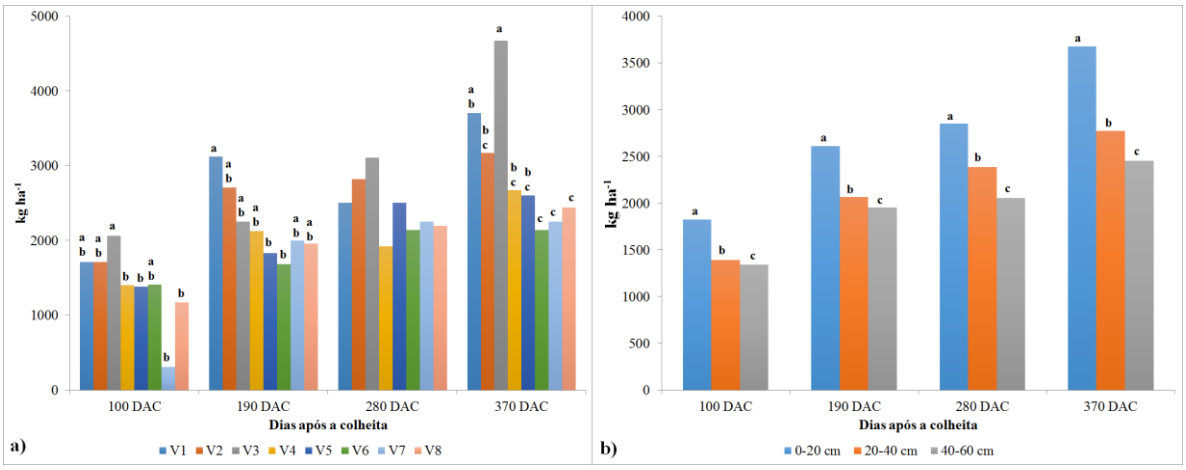

Figura 2 - Massa de raiz de cana-de-açúcar primeira soca em quatro épocas de coleta para variedades (a) e profundidades (b). *Médias seguidas pela mesma letra dentro do dia após a coleta não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Houve interação significativa entre variedades e profundidades para as coletas aos 280 e 370 DAC para massa de raiz, cujo desdobramento pode ser observado Tabela 4.6. Aos 280 DAC na profundidade de 0-20 cm, a CTC 17 diferiu apenas da RB 92579, produzindo 3872,58 kg ha^{-1} e 1936,82 kg ha^{-1} de raiz, respectivamente. Na camada de 20-40 cm, a RB 867515 não diferiu apenas de CTC 15 e CTC 17, sendo que a IAC 5000 produziu a menor quantidade de raiz, 1919,37 kg ha^{-1}. Na camada 40-60, cm não houve diferença estatística entre as variedades. Aos 370 DAC nas profundidades 0-20 e 20-40, cm a RB 867515 diferiu de todas as variedades com produção de 5812,73 kg ha^{-1} e 4712,44 kg ha^{-1} de raiz, respectivamente. Na camada de 40-60 cm a RB 867515 só não diferiu da CTC 15, produzindo 3764,67 kg ha^{-1} de raiz, com a RB 966928 obtendo a menor média de produção, 1693,85 kg ha^{-1}. As lâminas de irrigação não apresentaram significância a 0,05 pelo teste Tukey em nenhuma das coletas.

Tabela 4.6 - Desdobramento da interação entre variedade e profundidade para massa de raiz de cana-de-açúcar primeira soqueira

Variedades	280 DAC			370 DAC		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
	----------kg ha^{-1}----------			----------kg ha^{-1}----------		
CTC 15	2537,21 cd	2664,53 ab	2494,55 a	4323,16 b	3716,87 b	3081,73 ab
CTC 17	3872,58 a	2820,85 ab	1767,60 a	4273,09 b	2690,18 cd	2549,80 bcd
RB 867515	3418,80 ab	3376,31 a	2541,60 a	5812,73 a	4712,44 a	3764,67 a
RB 92579	1936,82 d	2137,15 b	1703,86 a	2383,62 c	2901,89 bc	2742,54 bc
RB 931011	3199,50 abc	2150,81 b	2168,26 a	4098,56 b	1891,14 d	1820,57 cd
RB 966928	2313,95 cd	2022,57 b	2090,86 a	2407,14 c	2330,50 cd	1693,85 d
IAC 5000	2948,33 bc	1919,37 b	1905,71 a	3056,69 c	1926,04 d	1780,35 d
NCO 376	2785,18 bcd	2011,18 b	1803,26 a	3090,08 c	2016,34 cd	229,57 bcd

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferiram entre si a 0,05 de probabilidade pelo teste Tukey.

A variável relação raiz-parte aérea foi significativa para variedades somente nas coletas 190 e 370 DAC (Figura 3a), já lâminas de irrigação obteve significância somente na coleta aos 190 DAC (Figura 3b). Aos 190 DAC a CTC 15 diferiu de RB 867515, RB 931011 e RB 966928 com relação raiz:parte aérea de 0,29, 0,20, 0,20 e 0,16 respectivamente. Aos 370 DAC a RB 867515 diferiu de CTC 17, RB 966928 e NCO 376 com relação raiz-parte aérea de 0,14, 0,09, 0,09 e 0,08, nesta ordem. A lâmina de irrigação de 50% diferiu apenas da L100 aos 190 DAC, com relação raiz-parte aérea de 0,27 e 0,17 respectivamente.

A relação raiz: parte aérea foi maior no início do ciclo de crescimento da soqueira e diminuiu nos períodos subsequentes. Segundo Otto (2012), isso se deve à baixa taxa de crescimento da parte aérea no início do ciclo, o que, associado à biomassa de raízes já existente da cultura do ciclo anterior, resulta em elevada relação raiz: parte aérea no início do ciclo. À medida que inicia-se o rápido crescimento da parte aérea, associado à pequena variação da biomassa de raízes ao longo do ciclo, ocorre diminuição contínua da relação raiz: parte aérea com a evolução do crescimento da cana-de-açúcar. Destes resultados pode-se concluir que a planta direciona os fotoassimilados primeiramente para manutenção do sistema radicular no início do ciclo e posteriormente para o crescimento da parte aérea.

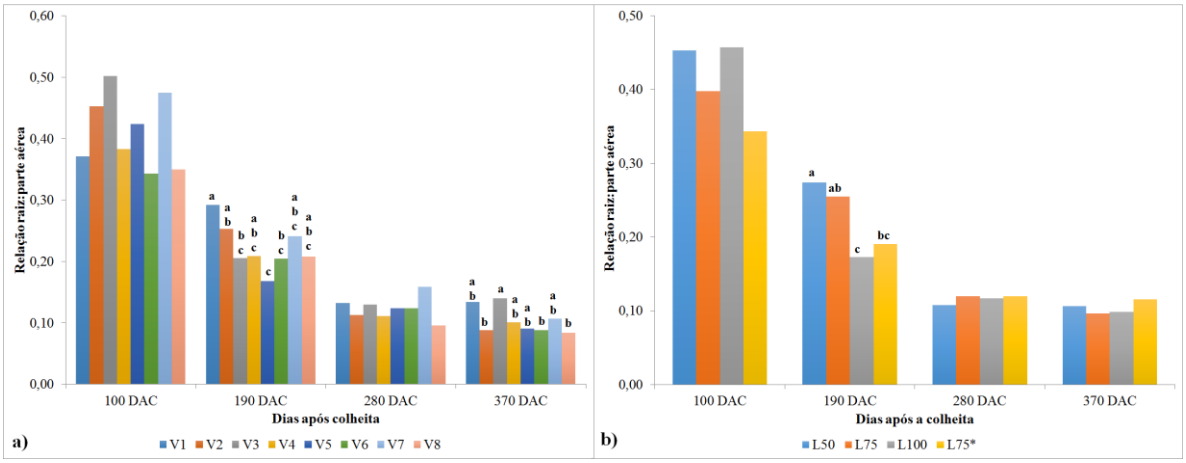

Figura 3 - Relação raiz:parte aérea de cana-de-açúcar primeira soqueira em quatro épocas de coleta para variedades (a) e lâminas de irrigação (b) *Médias seguidas pela mesma letra dentro do dia após a coleta não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

O ambiente do solo influencia diretamente no crescimento das raízes, podendo criar flexibilidade na forma e tamanho do sistema radicular. A disponibilidade e distribuição de água afeta diretamente o tamanho e a distribuição do sistema radicular, o que causa alterações na capacidade das culturas em explorar as camadas mais profundas do solo em busca de água e nutrientes. Em comum com outras gramíneas, a relação raiz:parte aérea para cana-de-açúcar é mais alta durante o início do crescimento e então diminui, segundo Smith (1998 in apud SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005), que avaliou a relação raízes: parte aérea para cana-de-açúcar cultivada em vasos, a relação raiz:parte aérea diminui com a idade da planta após atingir um máximo de 0,42 kg kg^{-1}, a aproximadamente 50 dias de idade. Há pouca informação sobre renovação do sistema radicular da cana-de-açúcar, mas há evidências de que o sistema radicular não é completamente substituído após o corte dos colmos conforme afirmam Bacchi (1983) e Smith (2005).

A variável densidade radicular foi significativa para variedades em todas as coletas (Figura 4a), já para lâminas de irrigação obteve significância somente na coleta aos 280 DAC (Figura 4b). Para profundidade, obteve significância em todas as coletas (Figura 4c). Para variedades aos 100 DAC a RB 867515 diferiu de RB 92579, RB 931011, IAC 5000 e NCO 376, com 1,03, 0,71, 0,70, 0,66 e 0,59 g dm^{-3}, respectivamente. Aos 190 DAC a CTC 15 diferiu de RB 931011 e RB 966928, com 1,57, 0,93 e 0,85 g dm^{-3}, nesta ordem. Aos 280 DAC a RB 867515 diferiu de RB 92579, RB 966928 e IAC 5000 com 1,62, 0,91, 0,98 e 0,99 59 g dm^{-3}, respectivamente. Aos 370 DAC, a RB 867515 só não diferiu de CTC 15, atingindo de 2,40 g dm^{-3}.

As lâminas de irrigação aos 280 DAC (Figura 4b), não diferiram entre si a 0,05 de significância, mas L50 e L100 proporcionaram maior densidade de raiz, cerca de 1,30 g dm^{-3}. A camada de 0-20 diferiu das demais em todas as datas de coleta, com 0,92 g dm^{-3} aos 100 DAC, 1,31 g dm^{-3} aos 190 DAC, 1,39 g dm^{-3} aos 280 DAC e 1,85 g dm^{-3} aos 370 DAC. A camada de 40-60 cm teve menor densidade radicular em todas as coletas.

Vários trabalhos apresentam dados da distribuição de raízes de cana-de-açúcar no solo com valores parecidos aos deste estudo. Lee (1926), nas Ilhas Havaianas, verificou que 65% das raízes encontravam-se nos 20 cm superficiais do solo, e que 85% encontravam-se até 60 cm de profundidade. Jensen (1951), em Cuba, observou emissão de grande quantidade de raízes de cana-de-açúcar próximo à superfície do solo e que as variedades diferiam pouco na distribuição de suas raízes, sendo que em todos os casos estudados mais de 50% delas encontravam-se nos 20 cm superficiais do solo.

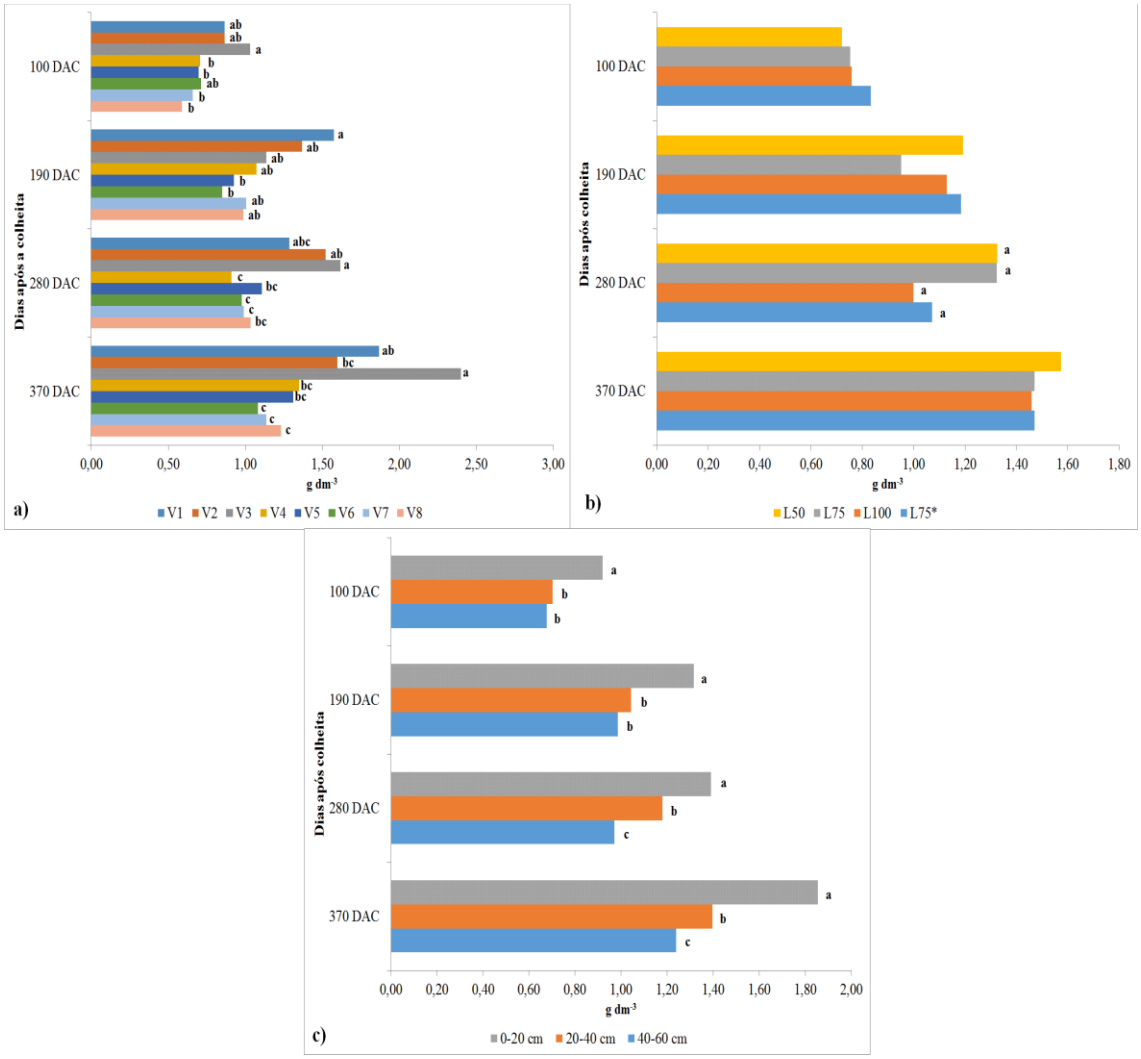

Figura 4 - Densidade radicular de cana-de-açúcar primeira soqueira em quatro épocas de coleta para variedades (a), lâminas de irrigação (b) e profundidades (c) *Médias seguidas pela mesma letra dentro do dia após a coleta não diferiram entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Uma concentração maior de raízes na superfície favorece uma absorção maior da água após irrigação ou precipitação, o que mitiga a evaporação, conforme defendido por Lampurlanés et al. (2001). Segundo os autores, a alta densidade de raízes nas camadas superficiais é uma característica favorável à absorção de água, após irrigações ou chuvas.

Battie-Laclau e Laclau (2009) observaram, tanto para sistema irrigado quanto para o não irrigado, que as raízes das camadas mais profundas do solo (> 1,0 m) são ferramentas importantes para suprir o requerimento de água da cultura em períodos de seca, aproveitando a água armazenada nas camadas profundas do solo.

Houve interação significativa entre variedade e profundidade para as coletas aos 280 e 370 DAC para densidade radicular, o desdobramento pode ser observado na Tabela 4.7. Aos 280 DAC, na profundidade de 0-20 cm, a CTC 17 não diferiu apenas da RB 867515, obtendo densidade radicular de 2,12 g $dm^{-3,}$ sendo que a RB 92579 obteve menor densidade, 0,82 g dm^{-3}. Na camada de 20-40 cm, RB 867515 e CTC 17 não diferiram apenas de CTC 15, com 1,78 e 1,55 g dm^{-3}, a IAC 5000 obteve a menor densidade, 0,83 g dm^{-3}. Na camada 40-60 cm, a RB 867515 diferiu apenas da IAC 5000 e da NCO 376, com 1,30, 0,81 e 0,81 g dm^{-3}, respectivamente. Aos 370 DAC, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, a RB 867515 diferiu de todas as variedades com densidade de raiz de 2,92 g dm^{-3} e 2,38 g dm^{-3}, nesta ordem. Na camada de 40-60 cm a RB 867515 só não diferiu da CTC 15, tendo densidade radicular de 1,90 g dm^{-3}, com a RB 966928 obtendo a menor média de densidade de raiz ,0,85 g dm^{-3}.

Vasconcelos et al. (2003), trabalhando com cinco metodologias de quantificação de raízes na cana-de-açúcar, também, identificaram diferenças na quantidade de raízes entre as profundidades avaliadas para todas as metodologias, apresentando na camada mais superficial a maior quantidade de raízes.

Tabela 4.7 - Desdobramento da interação entre variedade e profundidade para densidade radicular de cana-de-açúcar primeira soqueira

Variedades	280 DAC			370 DAC		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
	----------g dm^{-3}----------			----------g dm^{-3}----------		
CTC 15	1,30 c	1,35 ab	1,21 ab	1,87 b	1,87 b	1,55 ab
CTC 17	2,12 a	1,55 a	0,90 ab	2,15 b	1,36 cd	1,29 bcd
RB 867515	1,76 ab	1,78 a	1,30 a	2,92 a	2,38 a	1,90 a
RB 92579	0,82 d	1,05 bc	0,85 ab	1,20 c	1,46 bc	1,38 bc
RB 931011	1,43 bc	0,94 bc	0,94 ab	2,07 b	0,95 d	0,92 cd

RB 966928	1,05 cd	0,93 bc	0,95 ab	1,21 c	1,17 cd	0,85 d
IAC 5000	1,33 bc	0,83 c	0,81 b	1,54 c	0,97 d	0,90 d
NCO 376	1,31 bc	0,98 bc	0,81 b	1,56 c	1,02 cd	1,12 bcd

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 0,05 de probabilidade pelo teste Tukey.

Ball-Coelho et al. (1992) constataram densidade de raízes na colheita da cana-planta de 0,75 g dm^{-3} e na soqueira de 0,9 a 1,10 g dm^{-3}, em um Argissolo no Nordeste do Brasil, trabalhando até 2,0 m de profundidade, sendo a maior densidade encontrada, muito provavelmente, foi devido ao maior volume de solo amostrado. Vasconcelos et al (2003), trabalhando até a profundidade de 0,8 m, encontrou, em soqueira de quinto corte, densidade de raízes variando de 0,63 e 0,76 g dm^{-3}.

Laclau & Laclau (2009) avaliaram o crescimento do sistema radicular de cana-de-açúcar em condições de sequeiro e irrigadas em latossolo argiloso e observaram que, em condições de deficiência hídrica, a cana-de-açúcar tem o crescimento de raízes muito lento ou paralisado, além de não conseguir manter a quantidade de raízes já desenvolvidas, o que resulta em grande mortalidade, principalmente das raízes superficiais, e diminuição da massa radicular.

Cury et al. (2014), ao avaliar a massa radicular (em Mg ha^{-1}) da cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto, verificaram que a variação da quantidade de raízes foi mais influenciada pela condição hídrica do solo, o que ressalta a importância de manejos que proporcionem menor perda e maior retenção de água no solo. Os autores verificaram ainda que a maior quantidade de raiz foi determinada no máximo excedente hídrico, e a menor, na época de reposição hídrica do solo. O tratamento plantio direto manteve a massa radicular com menor variação ao longo das épocas de amostragem.

4.4 Conclusões

- A variedade RB 867515 obteve maior produção de biomassa, 4763,28 kg de raiz ha^{-1}, e densidade radicular, 2,40 g de raiz dm^{-3} de solo, ao final do ciclo e consequentemente maior relação raiz:parte aérea, 0,14.
- A camada de 0-20 cm apresentou maior concentração de raiz.
- Não houve diferença entre as lâminas de irrigação para nenhuma das variáveis estudadas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, S.F. **Observações sobre sistema radicular de cana-planta (*Saccharum* spp.)** 1978. 24p. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 1978. 24p.

ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e cana queimada em dois ciclos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 653-659, 2000.

ATKINSON, D. Root characteristics: Why and what to measure. In: SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C. van NORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; van de GEIJN, S.C. (Ed.). **Root methods:** A handbook. Berlin, 2000. p. 1- 32.

BACCHI, O.O.S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983. cap.2, p.24-37.

BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E.V.S.B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Root dynamic in plant and ratoon crops of sugar cane. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 142, p. 297-305, 1992.

BATTIE-LACLAU, P.; LACLAU, J.P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdan, v. 114, p. 351–360, 2009.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

CURY, T.N.; DE MARIA, I.C.; BOLONHEZI, D**.** Biomassa radicular da cultura de cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.38, p.1929-1938, 2014.

FANTE JUNIOR, L.; REICHARDT, K JORGE, L.A.C.; BACCHI, O.O.S. Distribuição do sistema radicular de uma cultura de aveia forrageira. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, supl, p.1091-1100, 1999.

JENSEN, J.H. Some studies of root habits of sugar cane in Cuba. **Tropical Plant Research Foundation**, Yonkers, 1951. 37p.

LACLAU, P.B.; LACLAU, J.P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.114, p.351-360, 2009.

LAMPURLANÉS, J.; ANGÁS, J.; CANTERO-MARTINEZ, C. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage system on two soil in semiarid conditions. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.69, p.27-40, 2001.

LEE, H.A. The distribution of the roots of sugar cane in the soil in the Hawaiian Islands. **Plant Physiology**, Rockville, v.1, p.363-378, 1926.

MARTINS, C.C.; SOARES, A.A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (Coffea arabica L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, n.2, p. 61-69, 2007.

OTTO, R.; **Desenvolvimento radicular e produtividade da cana-de-açúcar relacionados à mineralização do N do solo e à adubação nitrogenada.** 2012. 118p. Tese (Doutorado e Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SCALOPPI, E. J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n. 139, p. 54 – 63, 1986.

SMITH, D.M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 169-183, 2005.

VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita**: crua mecanizada e queimada manual. 2002. 140p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal.

VASCONCELOS, A.C.M. O sistema radicular da cana-de-açúcar e a expressão do potencial de produção. **STAB – Açúcar e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 20, 2002.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 849-858, 2003.

ANEXOS

Tabela 1 – Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de variedades de cana-planta irrigadas por gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Variedades	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- t ha^{-1}-----	----------kg ha^{-1}----------					
CTC 15	198,04	458,51 a	31,00 bc	444,79 ab	273,86 ab	181,63 a	236,20 a
CTC 17	197,82	430,98 ab	32,60 abc	474,50 a	272,38 ab	153,02 b	168,57 bc
RB 867515	167,63	340,53 cd	42,63 a	382,46 ab	246,33 ab	133,32 bc	189,20 abc
RB 92579	222,71	423,21 ab	32,75 abc	455,83 ab	261,34 ab	106,10 cd	166,90 bc
RB 931011	165,04	345,46 cd	39,29 ab	405,30 ab	231,36 bc	113,30 cd	131,34 c
RB 966928	156,48	287,27 d	34,94 abc	345,76 b	232,40 abc	102,40 d	147,70 bc
IAC 5000	161,98	369,67 bc	43,84 a	427,17 ab	277,96 a	141,38 b	200,78 ab
NCO 376	143,57	334,31 cd	27,42 c	358,56 b	192,04 c	111,89 cd	149,41 bc
Média	176,66	374,86	35,51	411,79	248,46	130,83	173,76
CV (%)	-	18,28	29,74	19,36	16,89	15,31	29,13

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2 – Acúmulo de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e boro (B) na parte aérea de variedades de cana-planta irrigadas por gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Variedades	Produtividade	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- t ha^{-1}-----	----------g ha^{-1}----------				
CTC 15	198,04	451,10	8504,20 a	2857,90	2759,00	327,73 ab
CTC 17	197,82	369,59	5817,80 bc	3020,60	2619,60	349,53 ab
RB 867515	167,63	646,67	4325,10 c	2560,90	2542,30	307,54 ab
RB 92579	222,71	443,50	7396,90 ab	2923,80	2628,60	306,18 ab
RB 931011	165,04	459,63	3934,30 c	1985,10	2506,20	239,33 b
RB 966928	156,48	457,20	4780,00 c	1970,40	2351,40	273,52 b
IAC 5000	161,98	429,61	4226,00 c	1957,20	1879,70	437,82 a
NCO 376	143,57	328,67	6012,30 bc	1645,30	1951,20	256,84 a
Média	176,66	448,26	5620,57	1365,15	2404,75	312,3 1
CV (%)	-	67,57	36,69	69,26	36,41	31,82

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3 – Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação por gotejamento superficial em relação a produtividade de colmos frescos.

Lâminas	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- t ha-1-----	----------kg ha-1----------					
50	125,92	275,99 c	26,61 b	323,81 b	177,46 d	92,19 d	131,56 b
75	184,04	416,86 b	39,92 a	452,63 a	271,13 b	140,16 b	210,87 a
100	232,23	478,28 a	44,69 a	507,81 a	317,3 a	174,51 a	215,8 a
75*	164,44	328,34 c	30,83 b	362,95 b	227,95 b	114,67 c	136,82 b
Média	176,66	374,86	35,51	411,79	248,46	130,83	173,76
CV (%)	-	18,28	29,74	19,36	16,89	15,31	29,13

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Acúmulo de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e boro (B) na parte aérea de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação por gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Lâminas	Produtividade	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- t ha-1-----	----------g ha-1----------				
50	125,92	396,02 ab	4003,90 c	1437,00 b	1580,20 b	267,27 b
75	184,04	610,82 a	5729,3 b	2134,1 b	2893,50 a	293,73 b
100	232,23	472,38 ab	7605,9 a	3421,2 a	2676,00 a	402,73 a
75*	164,44	313,85 ab	5143,2 bc	2468,4 ab	2469,40 a	285,51 b
Média	176,66	448,26	5620,57	1365,15	2404,75	312,3 1
CV (%)	-	67,57	36,69	69,26	36,41	31,82

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5 – Coeficiente de utilização biológica de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de enxofre (S) para produção de sacarose aparente (PH) de variedades de cana-planta irrigada via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Variedades	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- t ha^{-1}-----	----------kg de PH kg^{-1} de nutriente----------					
CTC 15	198,04	47,58 b	794,36 a	49,85 ab	78,69 ab	62,07 e	90,54 c
CTC 17	197,82	48,22 b	702,81 a	43,57 abc	74,95 abc	74,73 de	139,18 a
RB 867515	167,63	51,07 b	438,49 b	46,55 ab	69,51 abc	86,13 bcde	93,17 c
RB 92579	222,71	48,18 b	700,44 a	46,23 ab	80,12 ab	113,30 ab	129,79 ab
RB 931011	165,04	45,78 b	421,41 b	39,55 ab	66,57 bc	104,17 abc	123,71 abc
RB 966928	156,48	71,71 a	585,36 ab	58,78 a	88,39 a	115,55 a	152,33 a
IAC 5000	161,98	50,72 b	444,40 b	43,02 bc	66,38 bc	79,55 cde	99,82 bc
NCO 376	143,57	33,60 b	457,08 b	32,06 c	58,93 bc	101,91 abcd	90,72 c
Média	176,66	46,61	568,04	44,96	72,94	92,18	114,90
CV (%)	-	21,78	37,45	23,85	23,57	23,24	29,91

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6 – Coeficiente de utilização biológica de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e de boro (B) para produção de sacarose aparente (PH) de variedades de cana-planta irrigada via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Variedades	Produtividade	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- t ha^{-1}-----	----------g de PH g^{-1} de nutriente----------				
CTC 15	198,04	67,88 a	2,52 cd	9,00	9,80	65,28 a
CTC 17	197,82	70,43 a	3,64 abcd	9,62	9,93	58,30 a
RB 867515	167,63	44,43 a	4,29 abc	8,09	9,51	54,12 a
RB 92579	222,71	66,91 a	2,87 bcd	8,19	9,94	72,28 a
RB 931011	165,04	43,75 a	4,09 abc	7,67	8,50	71,61 a
RB 966928	156,48	67,82 a	4,68 a	10,10	10,58	72,76 a
IAC 5000	161,98	52,80 a	4,39 bd	9,22	11,18	49,49 a
NCO 376	143,57	50,89 a	2,05 d	6,98	7,21	41,66 a
Média	176,66	58,11	3,56	8,61	9,58	60,69
CV (%)	-	41,32	33,83	32,40	30,45	43,26

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7 – Coeficiente de utilização biológica de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de enxofre (S) para produção de sacarose aparente (PH) de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Lâminas	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- t ha^{-1}-----	----------kg de PH kg^{-1} de nutriente----------					
50	125,92	50,74	620,86	42,14	75,55	129,13	118,78
75	184,04	45,57	521,50	42,43	68,68	79,81	96,73
100	232,23	48,29	533,10	46,06	71,81	62,48	109,55
75*	164,44	53,84	596,71	49,19	75,73	97,28	134,56
Média	176,66	46,61	568,04	44,96	72,94	92,18	114,90
CV (%)	-	21,78	37,45	23,85	23,57	23,24	29,91

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8 – Coeficiente de utilização biológica de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e de boro (B) para produção de sacarose aparente (PH) de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Lâminas	Produtividade	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- t ha^{-1}-----	----------kg de PH g^{-1} de nutriente----------				
50	125,92	58,50 ab	3,67	8,86	10,00	51,86
75	184,04	48,40 b	3,45	7,96	9,19	64,94
100	232,23	54,42 ab	3,26	8,69	9,99	62,39
75*	164,44	71,11 a	3,88	8,92	9,14	63,56
Média	176,66	58,11	3,56	58,11	9,58	60,69
CV (%)	-	41,32	33,83	41,32	30,45	43,26

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 9 – Coeficiente de utilização biológica de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de enxofre (S) para produção de açúcares totais recuperáveis (ATR) de variedades de cana-planta irrigada via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Variedades	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- t ha^{-1}-----	----------kg ATR ton^{-1} kg de nutriente ha^{-1}----------					
CTC 15	198,04	0,27 b	4,41	0,27 b	0,43 b	0,65 c	0,50 c
CTC 17	197,82	0,27 b	4,07	0,25 b	0,43 b	0,76 bc	0,82 abc
RB 867515	167,63	0,34 ab	2,99	0,31 ab	0,46 ab	0,84 bc	0,64 bc
RB 92579	222,71	0,25 b	3,68	0,24 b	0,43 b	1,05 ab	0,69 bc
RB 931011	165,04	0,33 b	3,03	0,28 b	0,47 ab	0,97 abc	0,88 ab
RB 966928	156,48	0,48 a	3,96	0,39 a	0,60 a	1,35 a	1,04 a
IAC 5000	161,98	0,35 ab	3,08	0,29 b	0,46 ab	0,88 bc	0,69 bc
NCO 376	143,57	0,28 b	3,84	0,26 b	0,49 ab	0,81 bc	0,75 abc
Média	176,66	0,32	3,63	0,28	0,47	0,91	0,75
CV (%)	-	27,8	39,72	24,44	26,21	27,33	34,84

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 10 – Coeficiente de utilização biológica de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e de boro (B) para produção de açúcares totais recuperáveis (ATR) de variedades de cana-planta irrigada via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Variedades	Produtividade	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- t ha^{-1}-----	----------kg ATR ton^{-1} g de nutriente ha^{-1}----------				
CTC 15	198,04	373,61	13,68 d	49,86 ab	55,26	358,93
CTC 17	197,82	412,49	20,86 abcd	55,72 ab	59,26	329,32
RB 867515	167,63	318,31	28,90 abc	54,46 ab	63,41	360,44
RB 92579	222,71	367,17	14,92 cd	43,2 b	55,06	355,09
RB 931011	165,04	331,91	29,32 ab	53,48 ab	62,29	469,76
RB 966928	156,48	470,44	32,41 a	69,11 a	73,24	501,99
IAC 5000	161,98	369,91	30,29 ab	63,93 ab	78,23	335,59
NCO 376	143,57	417,19	17,07 d	57,28 ab	60,66	336,16
Média	176,66	382,62	23,43	55,88	63,42	380,91
CV (%)	-	52,73	35,8	32,42	37,17	40,69

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 11 – Coeficiente de utilização biológica de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de enxofre (S) para produção de açúcares totais recuperáveis (ATR) de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Laminas	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- t ha^{-1}-----	----------kg ATR ton^{-1} kg de nutriente ha^{-1}----------					
50	125,92	0,44 a	5,25	0,37 a	0,65 a	1,27 a	1,04 a
75	184,04	0,28 c	3,04	0,25 b	0,45 c	0,77 c	0,57 b
100	232,23	0,22 c	2,42	0,21 b	0,33 c	0,60 c	0,51 b
75*	164,44	0,35 b	3,82	0,32 a	0,49 b	1,00 b	0,88 a
Média	176,66	0,32	3,63	0,28	0,47	0,91	0,75
CV (%)	-	27,8	39,72	24,44	26,21	27,33	34,84

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 12 – Coeficiente de utilização biológica de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e de boro (B) para produção de açúcares totais recuperáveis (ATR) de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Lâminas	Produtividade	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- t ha^{-1}-----	----------kg ATR ton^{-1} g de nutriente ha^{-1}----------				
50	125,92	522,13 a	33,22 a	77,00 a	88,79 a	448,15 a
75	184,04	182,38 b	20,59 bc	50,98 c	55,36 b	374,42 ab
100	232,23	250,97 b	15,15 c	37,16 c	46,04 b	286,77 b
75*	164,44	475,03 a	25,76 b	58,38 b	63,50 b	414,31 a
Média	176,66	382,62	23,43	55,88	63,42	380,91
CV (%)	-	52,73	35,80	32,42	37,17	40,69

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 13 – Coeficiente de utilização biológica de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de enxofre (S) para produção de biomassa seca da parte aérea (BSPA) de variedades de cana-planta irrigada via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Variedades	BSPA	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- t ha^{-1}-----	----------kg de BSPA kg^{-1} de nutriente----------					
CTC 15	73,39	168,78 ab	2821,00 a	177,46	278,61	413,70 d	324,05 d
CTC 17	70,10	171,93 ab	2482,3 ab	155,58	269,02	473,33 bcd	489,90 ab
RB 867515	58,95	186,26 a	1604,30 c	168,82	253,65	461,45 bcd	340,47 cd
RB 92579	72,62	174,26 ab	2533,00 ab	167,33	290,21	720,69 a	469,92 abc
RB 931011	59,78	185,07 a	1694,50 c	160,41	268,13	555,13 b	498,90 a
RB 966928	51,41	196,29 a	1599,80 c	159,87	243,80	544,25 bc	414,53 abcd
IAC 5000	63,61	182,56 ab	1605,60 c	154,81	237,23	460,91 bcd	362,85 bcd
NCO 376	46,17	148,08 b	2010,40 bc	141,49	261,37	432,83 cd	401,41 abcd
Média	62,00	176,66	2043,86	160,72	262,75	507,78	412,75
CV (%)	-	17,05	34,73	19,48	19,07	20,13	25,82

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 14 – Coeficiente de utilização biológica de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e de boro (B) para produção de biomassa seca da parte aérea (BSPA) de variedades de cana-planta irrigada via gotejamento superficial.

Variedades	BSPA	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- t ha^{-1}-----	----------kg de BSPA g^{-1} de nutriente----------				
CTC 15	73,39	238,22 a	8,97 c	31,37	33,99	236,96 ab
CTC 17	70,10	247,45 a	13,09 abc	34,53	35,61	209,83 ab
RB 867515	58,95	156,02 a	15,76 ab	29,21	33,18	201,83 ab
RB 92579	72,62	138,78 a	10,41 bc	29,79	35,78	262,52 ab
RB 931011	59,78	178,97 a	16,46 a	31,18	34,96	288,59 a
RB 966928	51,41	181,69 a	12,97 abc	27,74	28,35	201,14 ab
IAC 5000	63,61	189,74 a	15,79 ab	33,12	39,76	175,56 b
NCO 376	46,17	223,91 a	9,11 c	30,86	31,80	185,61 ab
Média	62,00	206,84	12,82	30,97	34,11	220,25
CV (%)	-	35,73	29,33	28,63	24,84	41,20

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 15 – Coeficiente de utilização biológica de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de enxofre (S) para produção de biomassa seca da parte aérea (BSPA) de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial.

Laminas	BSPA	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- t ha^{-1}-----	----------kg de BSPA kg^{-1} de nutriente----------					
50	43,79	180,09 ab	2207,30	149,40 b	269,95	528,20 a	423,17 ab
75	64,00	163,51 b	1860,60	151,85 ab	147,77	477,96 a	347,30 b
100	80,75	173,57 ab	1978,10	167,44 ab	262,03	474,24 a	402,40 ab
75*	59,48	189,45 a	2129,40	174,19	271,27	550,74 a	478,15 a
Média	59,53	176,66	2043,85	160,72	262,75	507,78	412,75
CV (%)	-	17,05	34,73	19,48	19,07	20,13	25,82

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 16 – Coeficiente de utilização biológica de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e de boro (B) para produção de biomassa seca da parte aérea (BSPA) de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial.

Lâminas	BSPA	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- t ha^{-1}-----	----------kg de BSPA g^{-1} de nutriente----------				
50	125,92	203,02 ab	13,32	32,06	35,25	183,56
75	184,04	171,21 b	12,41	31,47	32,22	239,29
100	232,23	201,68 ab	11,84	29,17	36,54	227,86
75*	164,44	251,47 a	13,70	31,20	32,43	230,32
Média	59,53	206,84	12,82	30,97	34,11	220,25
CV (%)	-	35,73	29,33	28,63	24,84	41,20

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 17 – Coeficiente de utilização biológica de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de enxofre (S) para rendimento bruto de açúcar (RBA) de variedades de cana-planta irrigada via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Variedades	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- t ha^{-1}-----	----------kg de RBA kg^{-1} de nutriente----------					
CTC 15	198,04	49,29 b	823,59 a	51,67 ab	81,50 abc	120,69 b	93,93 d
CTC 17	197,82	50,49 b	735,25 ab	45,65 bc	78,59 abc	138,74 b	145,38 a
RB 867515	167,63	53,50 b	459,70 c	48,72 ab	72,81abc	131,18 b	97,60 cd
RB 92579	222,71	51,28 b	745,54 ab	49,21 ab	85,31 ab	212,06 a	138,16 ab
RB 931011	165,04	48,93 b	449,94 c	42,29 bc	71,13 bc	147,40 b	132,09 abc
RB 966928	156,48	72,53 a	592,29 bc	59,45 a	89,55 s	199,81 a	154,03 a
IAC 5000	161,98	52,43 b	459,73 c	44,52 bc	67,58 bc	132,28 b	103,30 bcd
NCO 376	143,57	37,69 b	512,43 c	30,02 c	66,21 c	109,65 b	101,97 bcd
Média	176,66	52,02	597,3	47,19	76,71	148,97	120,8
CV (%)	-	20,64	36,86	23,04	22,54	23,24	28,87

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 18 – Coeficiente de utilização biológica de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e de boro (B) para rendimento bruto de açúcar (RBA) de variedades de cana-planta irrigada via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Variedades	Produtividade	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- t ha^{-1}-----	----------kg de RBA g^{-1} de nutriente----------				
CTC 15	198,04	70,27 a	2,60 bc	9,29	10,12	67,79 a
CTC 17	197,82	73,67 a	3,81 abc	10,08	10,42	61,09 a
RB 867515	167,63	46,19 a	4,50 a	8,47	9,89	56,93 a
RB 92579	222,71	70,98 a	3,05 abc	8,73	10,55	77,09 a
RB 931011	165,04	46,76 a	4,37 ab	8,21	9,07	76,47 a
RB 966928	156,48	68,37 a	4,74 a	10,23	10,68	73,75 a
IAC 5000	161,98	54,56 a	4,55 a	9,53	11,54	51,09 a
NCO 376	143,57	57,19 a	2,30 c	7,83	8,10	46,87 a
Média	176,66	60,99	3,74	9,05	10,05	63,88
CV (%)	-	40,26	32,75	31,53	29,1	42,48

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 19 – Coeficiente de utilização biológica de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), do cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de enxofre (S) para rendimento bruto de açúcar (RBA) de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Lâminas	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- t ha^{-1}-----	----------kg de RBA kg^{-1} de nutriente----------					
50	125,92	53,14	651,26	79,30	79,30	154,98	124,56
75	184,04	47,79	547,37	72,09	72,09	139,14	101,44
100	232,23	50,96	566,37	76,03	76,03	138,66	116,34
75*	164,44	56,19	625,23	79,41	79,41	163,11	140,90
Média	176,66	52,02	597,30	47,19	76,71	148,97	120,80
CV (%)	-	20,64	36,86	23,04	22,54	23,24	28,87

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 20 – Coeficiente de utilização biológica de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e de boro (B) para rendimento bruto de açúcar (RBA) de cana-planta submetida a diferentes lâminas de irrigação via gotejamento superficial, em relação a produtividade de colmos frescos.

Lâminas	Produtividade	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	-----t ha^{-1}-----	----------kg de RBA g^{-1} de nutriente----------				
50	125,92	61,06	3,85	9,32	10,45	54,37
75	184,04	50,68	3,62	9,14	9,59	68,63
100	232,23	57,83	3,44	8,44	10,59	65,95
75*	164,44	57,83	4,05	9,29	9,55	66,58
Média	176,66	60,99	3,74	9,05	10,05	63,88
CV (%)	-	40,26	32,75	31,53	29,1	42,48

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.